



Académie des sciences (France). Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. 1960.

COMPTES RENDUS

HEBDOMADAIRES

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

GAUTHIER-VILLARS,
ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,
Paris. — Quai des Grands-Augustins, 55.

158050-60

Imprimé en France

COMPTES RENDUS

HEBDOMADAIRES

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

PUBLIÉS,

CONFORMÉMENT A UNE DÉCISION DE L'ACADÉMIE

EN DATE DU 13 JUILLET 1835,

PAR MM. LES SECRÉTAIRES PERPÉTUELS,

AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

TOME DEUX CENT CINQUANTE ET UNIÈME.

DEUXIÈME PARTIE : SEPTEMBRE-OCTOBRE 1960.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE
Quai des Grands-Augustins, 55.

1960

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 5 SEPTEMBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. LÉON BINET.

INTRODUCTION DE MEMBRES NOUVEAUX,

M. **Jean Laval**, élu Membre de la Section de Physique le 9 mai 1960, en remplacement de M. *Jean Cabannes*, décédé, et M. **Georges Champetier**, élu Membre de la Section de Chimie le 20 juin 1960, en remplacement de M. *Paul Lebeau*, décédé, sont introduits en séance par M. le Secrétaire perpétuel pour les sciences mathématiques et physiques.

M. le Président donne lecture des décrets en date du 20 juillet 1960, approuvant leur élection; il leur remet la médaille de Membre de l'Institut et les invite à prendre place parmi leurs Confrères.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. **Felix Andries Vening-Meinesz** adresse en hommage à l'Académie son Ouvrage intitulé : *Het ontstaan van plooiingsgebergten, middelgebergten en grootslenken*; *het ontstaan van continenten en oceanen.*

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

Henri Guerlac. *The Origin of Lavoisier's work on combustion*, in *Archives internationales d'Histoire des sciences*, n° 47, 1959.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA MÉDITERRANÉE. — *Les dépôts de cendres du volcan sous-marin du large de Nice.* Note de MM. **Jacques Bourcart**, **Pierre Robert** et **Michel Siffre**.

Une série de gisements de cendres mêlées de fragments de laves, irrégulièrement stratifiées, affleurent dans le pays niçois : sur le cap d'Antibes; formant les collines des Aspres de Biot à Villeneuve; en buttes témoins sur le plateau de Roquefort; dans la vallée du Var, au Sud de la Baronne et, enfin, au cap d'Ail où ces formations atteignent presque la frontière de Monaco. Elles contiennent partout, mais surtout au cap d'Ail, des galets ou des graviers de roches étrangères à la région : granites, microgranites, rhyolites, quartz de filon, etc., qui proviennent vraisemblablement d'un pays de montagnes actuellement remplacé par le profond golfe de Gênes (Bourcart, 1959 *b*) [1]. Les cinérites contiennent aussi des Foraminifères marins : ce qui indique qu'elles ont été projetées, au moins en partie, dans la mer.

L'âge de ces projections volcaniques a été longtemps discuté. Un résumé des diverses idées émises à ce propos se trouve dans la thèse d'Albert F. de Lapparent [2]. Cet auteur conclut finalement à leur âge burdigalien, par comparaison avec les venues basaltiques de Tourrettes-sur-Loup.

Le problème de l'âge de cette explosion volcanique a un grand intérêt pour l'histoire de la Méditerranée et, particulièrement, pour l'explication de la formation d'un golfe de plus de 2 600 m à la place d'un pays continental qui joignait à l'Oligocène, et vraisemblablement encore au Miocène inférieur, la Corse aux Alpes-Maritimes.

L'un de nous (J. B., 1953 et 1959 *a*) [1] avait pour des raisons géographiques soutenu que les cinérites dataient du Pliocène. Elles se sont, en effet, déposées dans des vallées, notamment dans celle du Var, qui ont été creusées seulement à la fin du Miocène.

Un élève de A. F. de Lapparent, Léonard Ginsburg (1956) [3] a vivement critiqué cette interprétation. Mais, en utilisant les résultats des forages effectués pour la reconnaissance du trajet de l'autoroute Estérel-Côte d'Azur au travers des Aspres de Villeneuve, deux d'entre nous (Bourcart et Siffre, 1959) [4] ont indiqué que les cinérites y reposaient en général sur des marnes bleues de l'Éocène supérieur, mais dans d'anciens vallons creusés dans ces marnes, sur les marnes bleues à microfaune plaisancienne. Par ailleurs, au cap d'Ail, les cinérites sont certainement recouvertes par le Plaisancien.

Une interprétation de forages pouvait encore, à la rigueur, prêter à discussion. Mais nous avons pu suivre cette année le creusement des tranchées de l'autoroute à leur voisinage : au lieudit les Baumettes, à peu de distance de la vallée du Loup, les travaux ont dégagé une très belle coupe qui confirme entièrement nos conclusions précédentes :

De l'Ouest-Sud-Ouest à l'Est-Nord-Est, les cinérites reposent d'abord sur l'Éocène supérieur; mais, dès la rive gauche du vallon de la Pierre, le contact se fait par l'intermédiaire de marnes bleues plaisanciennes fossilifères. Le contact se poursuit jusqu'au vallon du Pied de la Digue où les couches de cinérites sont recouvertes par des marnes toujours plaisanciennes avec de minces lits de galets. Sur la rive droite de ce dernier vallon, les marnes pliocènes de la couverture sont surmontées par les sables et les galets de l'extrême bord du delta sous-marin du Var qui se poursuit jusqu'à la R. N. 7. Le cailloutis contient un gros bloc roulé d'andésite provenant des cinérites.

Les cendres du volcan ont donc été déposées dans la mer plaisancienne. Il est très curieux de remarquer qu'elles ont été surtout conservées dans les vallées ou dans les dépressions qui s'étaient formées au cours de la fin du Miocène, particulièrement là où l'Éocène était conservé. Il en existe même un témoin comblant un aven dans les dolomies des collines d'Antibes.

Les produits de l'explosion volcanique sont donc bien sous-marins et datent du début du Plaisancien. Comme l'éruption du volcan d'Agde, elle témoigne des grandes distensions qui inaugurent la formation de la Méditerranée nouvelle, produisant des fentes qui se sont aggravées au cours du Quaternaire, causant l'approfondissement de cette mer.

(1) J. BOURCART. — 1953 : *Actes IVe Congrès INQUA*, Rome et Pise, p. 3; 1959 *a* : *Cong. Préhist. de Fr.*, XVIe session, Monaco, p. 74; 1959 *b* : *C. R. somm. séances Soc. géol. Fr.*, no 6, p. 129.

(2) A. F. DE LAPPARENT, *Étude géologique dans les régions provençales et alpines entre le Var et la Durance* (*Thèse*, Paris, 28 juin 1938, p. 136-138).

(3) L. GINSBURG, *C. R. somm. séances Soc. géol. Fr.*, 1956, p. 162-163.

(4) J. BOURCART et M. SIFFRÉ, *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), 1, 1959, p. 551-554.

ÉCONOMIE RURALE. — *La lutte contre l'épizootie aphteuse.* Note de M. **Gaston Ramon.**

A partir du début de l'année 1952, date à laquelle commençait en France une épizootie de fièvre aphteuse qui devait être l'une des plus graves que notre pays ait subies, nous avons à de nombreuses reprises entretenu l'Académie de la lutte contre ce fléau [1].

Ainsi que nous l'avons rappelé dans notre Note du 4 août 1952 [2] que nous considérons comme notre Note princeps sur cette question, la fièvre aphteuse était depuis longtemps l'objet de nos préoccupations. En effet, après avoir résolu le problème de la prévention des toxi-infections, notamment de la diphtérie et du tétanos, par les vaccinations au moyen des anatoxines spécifiques que nous avions mises en évidence en 1923 [3], nous devions nous intéresser aux questions de prophylaxie des maladies contagieuses dont les agents sont des ultravirus et tout spécialement de la fièvre aphteuse. Nous écrivions, par exemple, en 1941 : « La fièvre aphteuse dont la dernière vague épizootique (1937-1938) a coûté 5 milliards de francs (de l'époque) à l'Agriculture française, risque, si elle s'étend à nouveau sur notre territoire, de réduire notre Élevage déjà si appauvri.... Les Pouvoirs publics doivent se pencher sur les problèmes que posent avec plus d'acuité que jamais, en raison des circonstances (on était alors en pleine guerre et sous l'occupation), les maladies épidémiques et épizootiques » [4].

Au printemps 1951, ayant eu connaissance d'une recrudescence de l'enzootie aphteuse, en Allemagne, nous en appelions à la vigilance des autorités vétérinaires de notre pays et des autres pays : « Bien que la situation, en matière de fièvre aphteuse, ne soit pas des plus alarmantes, elle exige, néanmoins une particulière attention... », déclarions-nous [5].

Bientôt, s'amorçait la grande épizootie aphteuse qui, pendant des années allait exercer ses ravages sur le bétail européen et plus particulièrement sur le bétail français. Elle prenait son départ en Allemagne, en juin 1951, elle atteignait rapidement la France.

Après avoir étudié les moyens employés par différentes nations pour se protéger avec succès dans le passé et dans le présent, contre l'épizootie aphteuse, nous exposions dans notre Note du 4 août 1952, *le système de lutte* capable d'éviter l'envahissement du cheptel dans un pays menacé par la maladie ou dans lequel celle-ci venait de faire son apparition.

1° *Prendre des mesures sanitaires de précaution* : interdiction d'importation d'animaux, de produits d'origine animale ou de denrées fourragères en provenance de pays même lointains où sévit la fièvre aphteuse.

2° *Déclarer*, sans retard aux autorités qualifiées, les cas de fièvre aphteuse confirmés ou suspects.

3° *Abattre,* sans délai, dès le diagnostic posé, les animaux malades ou contaminés (bovins, ovins, porcs) des exploitations infectées. *L'abattage permet d'éteindre les foyers, d'empêcher la multiplication du virus et d'éviter l'apparition des variantes de virus, et de nouveaux foyers.*

4° *Désinfecter* et à plusieurs reprises, les exploitations contaminées ou simplement menacées.

5° *User des mesures restrictives à l'égard de la circulation des animaux réceptifs ou non à la fièvre aphteuse,* dans les zones infectées ou présumées telles et de ces zones vers des zones non infectées.

6° *Contrôler* sévèrement le transport des animaux par chemins de fer, camions, etc.

7° *Interdire* les marchés, foires, expositions du bétail.

Il va sans dire que c'est le plus tôt possible qu'on doit mettre en application ce système, dès la constatation du premier ou des tout premiers cas de fièvre aphteuse, ou encore au déclin d'une épizootie lorsque les foyers sont devenus peu nombreux.

« Il peut sembler aux esprits non avertis, précisions-nous, dans notre Note du 4 août 1952, que les mesures sanitaires que nous venons d'énumérer et en particulier l'abattage des animaux malades ou contaminés, sont très coûteuses. Tout compte fait, elles sont infiniment moins onéreuses pour les éleveurs et pour les États, que les dommages occasionnés par l'épizootie sévissant dans toute sa vigueur et dans toute sa malignité. Que coûtera, à la France, l'épizootie qui vient d'éclater ? Certainement beaucoup plus de 100 milliards de francs. Qu'eût coûté au Canada et aux États-Unis, une épizootie analogue à celle qui règne eu Europe ? Probablement des centaines et des centaines de millions de dollars, alors qu'il a suffi de quelques millions de dollars pour payer les frais des mesures prises et notamment les frais d'abattage (stamping out) des trois ou quatre milliers d'animaux existant dans les foyers canadiens de fièvre aphteuse laquelle, importée d'Europe, avait pénétré au Canada au début de l'année 1952 ».

« Le système de lutte contre la fièvre aphteuse qui repose sur l'application stricte des Règlements sanitaires et en particulier sur la pratique de l'abattage peut être complété dans certaines circonstances par l'usage de la *vaccination,* déclarions-nous toujours dans notre Note du 4 août 1952. Cependant, *dans l'état actuel de nos connaissances,* la vaccination aphteuse ne peut servir que d'appoint. Telle qu'elle est effectuée à l'heure présente et en mettant les choses au mieux, elle ne procure qu'une immunité relativement faible, peu durable, qui peut être mise en défaut à chaque instant par l'apparition d'une variante nouvelle de virus, par exemple. On doit l'avouer, poursuivions-nous, depuis 1945 et pendant plusieurs années, la vaccination n'a pu mettre un terme à l'endémie aphteuse qui existait en France et *a fortiori* elle n'a pu endiguer la forte vague épizootique qui, à partir du printemps 1952, a envahi la totalité du territoire français.... Est-ce à dire que la vaccination aphteuse ne peut être améliorée dans sa technique et dans ses résultats et ne peut rendre quelques services ? Loin

de nous une telle pensée. Déjà nous avons fait certaines suggestions à cet égard.... »

Nous terminions ainsi notre Note du 4 août 1952 : « *l'amélioration de la vaccination, le perfectionnement des méthodes permettant de combattre avec efficacité un fléau tel que la fièvre aphteuse supposent l'organisation de la Recherche vétérinaire et tout spécialement de celle consacrée aux maladies infectieuses et épidémiques des animaux. A différentes reprises dans le passé, nous avons, M. Leclainche et moi-même, réclamé, mais en vain, une organisation de la Recherche vétérinaire véritablement digne de ce nom. Elle existe dans de nombreux pays. La France sera-t-elle la dernière à la posséder et à s'en servir ? Ainsi,* concluions-nous, *la fièvre aphteuse soulève donc avec une urgence et une exigence plus grandes que jamais, des problèmes de la plus haute importance pour notre pays, pour son Économie rurale et pour son économie en général. L'Académie des Sciences se doit d'y porter intérêt* ».

Sans délai, l'Académie répondit à notre appel.

Sur notre proposition, elle adopta le 4 *août* 1952 ([6]) *les vœux suivants qui furent immédiatement adressés par les soins de MM. les Secrétaires perpétuels au Président du Conseil des Ministres et au Ministère de l'Agriculture :*

« *L'Académie des Sciences*, en présence de l'émotion soulevée en France, spécialement parmi les populations agricoles, par l'épizootie aphteuse qui ravage le cheptel national et qui risque de compromettre l'économie rurale du pays et l'effort de redressement actuellement entrepris, émet le vœu :

— que tout soit mis en œuvre pour conjurer le fléau et pour en éviter le retour dans l'avenir,

— que notamment, les règlements de police sanitaire et autres mesures qui reposent sur des bases scientifiques certaines et qui ont fait leurs preuves, soient appliqués judicieusement et sans défaillance aucune, afin d'assurer la protection du bétail contre l'épizootie aphteuse et de limiter ainsi l'extension de celle-ci.

L'Académie des Sciences émet, en outre, le vœu :

— que la Recherche vétérinaire et principalement celle qui a pour objet la lutte contre la fièvre aphteuse et contre les maladies infectieuses et épidémiques des animaux en général, soit enfin organisée et dotée de moyens suffisants pour mener à bien sa mission dans l'intérêt du pays. »

Ces vœux étaient suivis de la déclaration ci-après :

« *Une Commission de l'Académie composée de MM. Leclainche, Lapicque, Javillier, Ramon, Demolon, Mayer et Lemoigne se tient, dès maintenant, à la disposition des Pouvoirs publics pour étudier toutes questions que ceux-ci voudront bien lui soumettre, à ces différents égards* ».

Les vœux ainsi émis, par l'Académie des Sciences le 4 *août* 1952, *ne furent pas pris en considération par les Pouvoirs publics et la Commission nommée ce même jour, ne fut jamais consultée.*

Et la fièvre aphteuse continua en France ses ravages, et notre pays est aujourd'hui profondément infecté par les virus aphteux qui peuvent provoquer et provoquent en réalité à chaque instant de nouveaux foyers

de la maladie. Nos prévisions les plus pessimistes devaient être ainsi dépassées.

A la fin de l'année 1958, on avait enregistré au total dans notre pays, depuis le début de l'année 1952, plus de 450 000 foyers (on entend par foyers les fermes, les exploitations infectées de fièvre aphteuse) ce qui représente des millions d'animaux malades ou contaminés. On peut évaluer, à l'heure présente, à plus de 300 milliards (de francs anciens) les pertes entraînées en France par la fièvre aphteuse (mortalité, amaigrissement des animaux, diminution de la production du lait, avortements, etc.) alors qu'en Grande-Bretagne, par exemple, où le système de l'abattage est appliqué intégralement, sans vaccination, les frais occasionnés par la fièvre aphteuse, y compris les indemnités aux propriétaires des animaux abattus n'ont pas atteint pendant le même temps 10 millions de livres sterling.

Une autre conséquence de l'épizootie aphteuse en France, c'est *l'entrave* mise aux exportations du bétail ou des produits du bétail vers des pays voisins ou lointains. Les marchés extérieurs d'Amérique centrale, d'Amérique du Sud notamment où nos animaux reproducteurs faisaient prime jadis sont fermés à la France depuis plusieurs années et, sans doute, pour longtemps encore. Ces pertes « virtuelles » sont incalculables.

Cependant, en dépit de l'inertie, de la carence des Pouvoirs publics, nous avons poursuivi sans nous lasser, opiniâtrement, nos interventions en faveur de l'organisation rationnelle de la lutte contre le fléau aphteux, en faveur surtout de l'application et de la généralisation du système de l'abattage; les Notes successivement présentées devant l'Académie des Sciences, nos nombreuses publications dans divers recueils [7], ainsi que les vœux émis, à notre suggestion, par d'autres Académies, témoignent de nos efforts.

Quoique le procédé de vaccination aphteuse actuellement en usage repose sur les principes immunologiques que nous avons institués il y a plus de trente ans, le principe des anatoxines et des vaccins anavirulents et celui des substances adjuvantes et stimulantes de l'immunité, nous en avons bien vite reconnu les défauts et le manque d'efficacité pour conjurer ou éteindre, à lui seul, *l'épizootie* aphteuse. Nous n'avons donc pas hésité à préconiser comme mesure essentielle et primordiale de lutte contre le fléau aphteux le système de l'abattage qui, *complété ou non* par la vaccination, a donné dans de nombreux pays, dans le passé et dans le présent, toutes les preuves de son efficacité [8].

Nous avons, aujourd'hui comme hier, la ferme conviction basée sur des faits et non sur des affirmations gratuites que si, comme nous l'avions maintes fois conseillé, la France avait procédé à l'application du système de l'abattage en temps opportun c'est-à-dire au moment où il n'existait sur son territoire qu'un petit nombre de foyers aphteux (par exemple à la fin de l'année 1953 il n'était signalé que 18 foyers en novembre, 29 en

décembre) on n'aurait sans doute pas assisté aux retours offensifs du fléau aphteux qui ont causé et qui causent encore des ravages parmi notre élevage et entravent les exportations de notre bétail vers l'étranger.

Ajoutons à titre d'information qu'en 1959 il y a eu en France plus de 6 000 foyers de fièvre aphteuse déclarés. Si en mars 1960, 180 foyers nouveaux étaient enregistrés, 1 150 foyers étaient notifiés en mai, ce qui indique une très nette recrudescence de la fièvre aphteuse et cela malgré la pratique de plus en plus étendue de la vaccination.

Ainsi que nous l'avions signalé dans la Note que nous avons présentée devant l'Académie en septembre 1957 [9], un essai d'application du système de l'abattage a été tenté dans le département du Finistère. Au mois de janvier 1957, alors qu'une nouvelle vague épizootique envahissait la France, une dizaine de foyers étaient signalés dans le Finistère. Le système de l'abattage y était institué à l'exclusion de la vaccination, sur l'initiative louable et courageuse du Directeur des Services vétérinaires de ce département (Docteur Vétérinaire Pérus) avec l'aide morale et matérielle du Conseil général. Du 1er janvier 1957 au 31 mars 1958, il y a eu dans le Finistère 73 foyers dont les animaux ont été abattus. Dans les départements limitrophes, on a enregistré durant la même période, 1 257 foyers dans le Morbihan, 902 dans les Côtes-du-Nord [10]. Dans ces deux départements, l'abattage n'était pas appliqué, seule une vaccination partielle était pratiquée.

Dans notre Note du 2 septembre 1957, nous exprimions à nouveau l'espoir « que dès que les circonstances le permettront, c'est-à-dire lorsque dans l'ensemble des départements, il n'existera plus qu'un petit nombre de foyers aphteux (comme à la fin de 1953, où il n'était notifié en France, répétons-le, que deux ou trois dizaines de foyers) et sans attendre une nouvelle vague épizootique, le système de l'abattage soit appliqué à bon escient et avec persévérance dans toute la France et obtienne le même succès qu'en Grande-Bretagne, en Suède, en Suisse, aux États-Unis, au Canada, etc. ainsi que dans le département du Finistère ».

Or, à la date du 27 août dernier, le Ministre de l'Agriculture a pris un Arrêté ordonnant l'abattage systématique de tous les animaux atteints de fièvre aphteuse ou contaminés, dans 18 départements de l'est de la France.

Nous formulons le souhait que l'abattage, maintenant officiellement ordonné, soit judicieusement mis en œuvre (et les Règlements de police sanitaire rigoureusement appliqués) et qu'il soit étendu à l'ensemble des départements, car en pareille matière, une demi-mesure peut être sans effet.

Nous aurons ainsi la satisfaction de penser que nos efforts entrepris dès le mois d'août 1952 avec l'appui de l'Académie et sans cesse poursuivis depuis lors, n'auront pas été vains, et que notre pays tirera profit,

pour la sauvegarde de son cheptel et pour l'amélioration de son Économie rurale et générale, de l'application des mesures que nous avons inlassablement préconisées et recommandées.

(1) G. RAMON, *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 777; 234, 1952, p. 1010; 234, 1952, p. 1106; 235, 1952, p. 333; 238, 1954, p. 975; 239, 1954, p. 629; 240, 1955, p. 1173; 241, 1955, p. 839; 242, 1956, p. 1937; 244, 1957, p. 275; 245, 1957, p. 913.

(2) G. RAMON, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 333.

(3) G. RAMON, *Comptes rendus*, 177, 1923, p. 1338.

(4) G. RAMON, *Bull. Acad. Médecine*, 124, 1941, p. 495; *Bull. Acad. Vétérinaire*, 15, n° 1, 1942, p. 1.

(5) G. RAMON, *Bull. Off. intern. des Epizooties*, 36, 1951, p. 14 et 35; 1951 (mars-avril), p. 109.

(6) *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 403.

(7) *Voir* la liste de nos publications jusqu'au début de l'année 1957 in *Bull. Off. intern. des Epizooties*, 47, 1957, p. 156.

(8) *Voir* à ce sujet nos publications depuis 1952 (*loc. cit.*).

(9) G. RAMON, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 913.

(10) G. RAMON, *Bull. Off. intern. des Epizooties*, 50, 1958, p. 1.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

AÉRODYNAMIQUE ET CALCUL ANALOGIQUE. — *Sur l'adaptation d'une aile annulaire.* Note (*) de MM. **Ernest Eichelbrenner** et **Gérard Hacques**, présentée par M. Joseph Pérès.

Par une courbure convenablement imposée aux profils d'une aile plane, il est bien établi que la polaire expérimentale peut se rapprocher de la polaire induite optimale, tout au moins autour d'une valeur choisie de la portance (Cz_A d'adaptation). L'adaptation ainsi envisagée et préconisée par L. Malavard [1] tend à éviter les fortes perturbations, théoriquement infinies, qui se développent au bord d'attaque de l'aile en incidence et provoquent un surcroît de traînée par une désorganisation de l'écoulement potentiel.

Le principe de l'adaptation est appliqué ici à une surface portante annulaire. L'examen de la polaire induite et de la polaire expérimentale, relatives à une telle surface non cambrée, montre en effet (*fig.* 1) qu'un gain de finesse est possible, assez notable sans doute au voisinage de la finesse maximale. Soit donc une aile annulaire mince, quasi cylindrique, de diamètre moyen $2a$ et de corde c, placée avec l'incidence i dans un écoulement de vitesse générale V_0 parallèle à l'axe Ox. Grâce aux hypothèses classiques de la théorie linéarisée des surfaces portantes, il est possible d'étudier l'écoulement en considérant le potentiel des pressions $q=(p-p_0)/(1/2)\,\rho V_0^2$ (ρ, masse spécifique du fluide; p_0, pression de l'écoulement général), fonction harmonique tridimensionnelle dont les conditions aux limites sont les suivantes [2] :

1° les perturbations de pression s'annulent à l'infini : $q=\text{grad}\,q=0$;

2° le long de chaque profil la loi de charge est imposée et mise sous la forme $q^+-q^-=\delta q(\xi,\theta)$; ξ est l'abscisse réduite x/c, θ est l'angle polaire qui repère la position d'un profil, les signes $+$ et $-$ distinguent la face externe de la face interne de l'aile;

3° à la traversée de la coupure ainsi définie, la dérivée normale $dq/d\eta$ (η normale à l'aile) demeure continue et se trouve liée à la courbure des profils par la condition de glissement qui s'écrit :

$$\frac{dq}{d\eta}=2\frac{d\alpha}{d\xi} \tag{1}$$

où α désigne la pente locale comptée à partir de la direction V_0.

Puisque l'écoulement doit être modifié principalement près du bord d'attaque, la loi de charge n'est imposée que sur la partie $0<\xi<\xi_A$ de l'aile. Si l'on considère maintenant le cas où l'aile est cylindrique et

droite au-delà de la profondeur d'adaptation ξ_A, on peut écrire simplement $\delta q = \delta q_0 f(\xi) \cos\theta$, l'indice o indiquant le profil situé dans le plan vertical. Cette limitation de la profondeur cambrée s'avère d'ailleurs nécessaire si le centre de poussée global de l'aile est astreint à ne pas trop changer de position après l'adaptation.

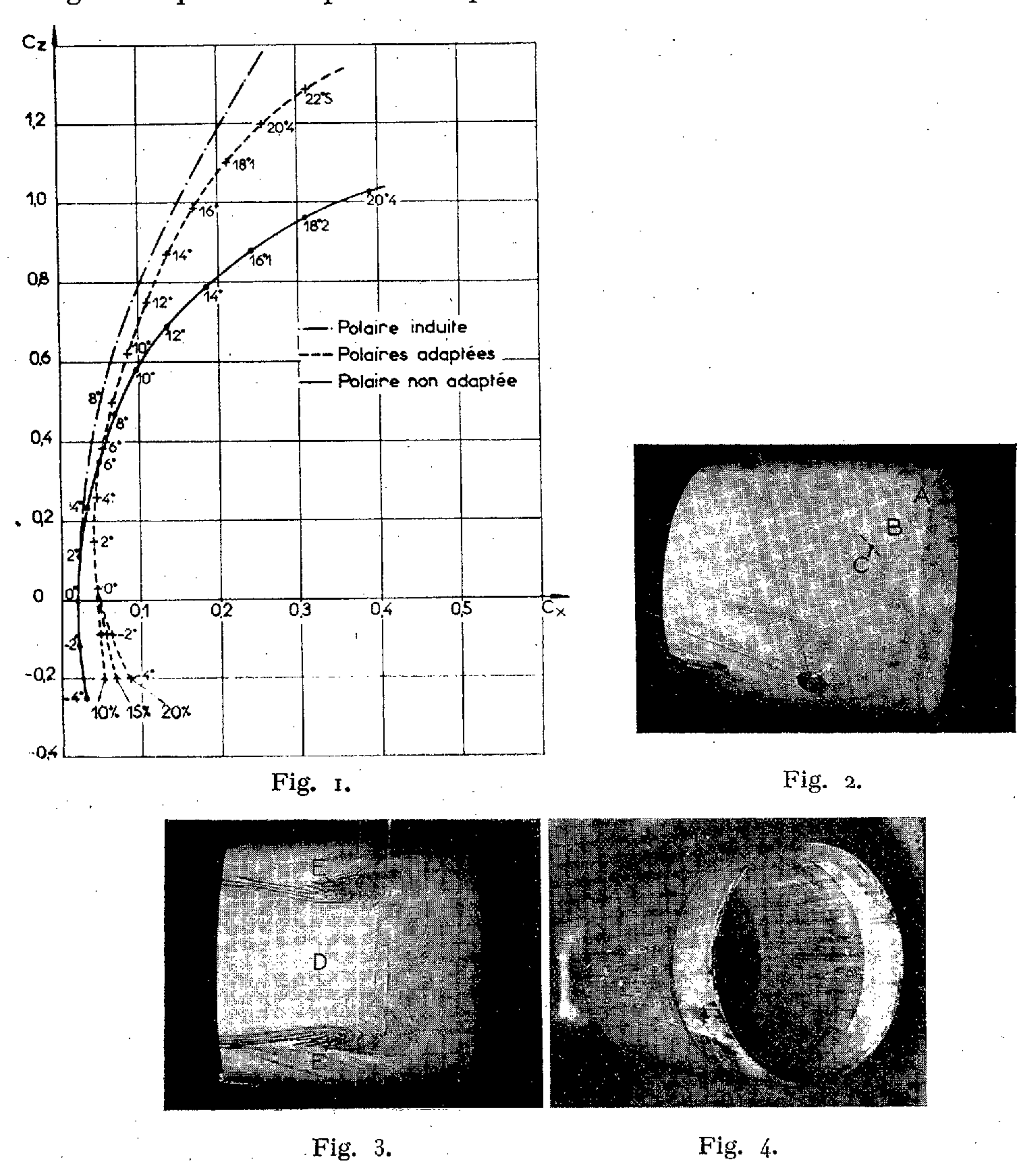


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

La fonction q est déterminée par analogie rhéoélectrique. Le principe de la réalisation des conditions aux limites 2 et 3 est bien connu; il est appliqué ici le long des génératrices d'une mince lame représentant l'aile, que les symétries permettent de limiter entre $\theta = 0$ et $\theta = \pi/2$. La variation du gradient $dq/d\eta$ étant sinusoïdale en fonction de θ, la double intégration de l'équation (1) n'est à envisager que le long de la génératrice $\theta = 0$ pour définir la forme de l'aile. A cet effet, et pour éviter la mesure de l'intensité électrique depuis l'infini amont jusqu'au bord d'attaque,

il est indiqué d'utiliser la règle des écoulements inverses. Cette règle permet d'évaluer la pente α_0 (o) à partir des résultats obtenus sur l'aile annulaire cylindrique droite en incidence. Les calculs analogiques ont été entrepris dans le cas $2a/c = 1$, pour les trois profondeurs d'adaptation $\xi_A = 0{,}1$, 0,15 et 0,2 (ces valeurs sont prises assez faibles pour conserver l'équilibrage de l'aile initiale). En première adaptation on a pris $f(\xi) = 1$: différence de pression constante en corde, jusqu'à ξ_A.

La vérification expérimentale de l'effet de courbure ainsi obtenu a été faite avec une aile annulaire engendrée par un profil laminaire de la série NACA 66006. Les essais ont été effectués par le Bureau technique Zborowski dans la soufflerie à faible vitesse de l'Institut Franco-Allemand de Recherches scientifiques de Saint-Louis sur deux maquettes : l'une, non adaptée, munie de prises de pression, l'autre possédant trois bords d'attaque amovibles. Le nombre de Reynolds global est de l'ordre de 10^6 et conduit à un écoulement laminaire sur toute l'aile, à incidence nulle.

Les polaires obtenues, tracées sur la figure 1, donnent un résultat particulièrement intéressant confirmant l'hypothèse faite sur la nécessité d'une modification très localisée de l'écoulement : elles coïncident pour les trois ailes adaptées; elles ne se distinguent que pour $i < 0°$ et $i > 24°$. Les courbes de finesse montrent aussi une nette amélioration des performances de l'aile pour $i > 6°$, le maximum se situant à $i = 8°$. En outre, la conservation du centre de poussée global est assez bien respectée au voisinage du Cz_A choisi.

Entre $i = 0°$ et $i = 25°$ les configurations pariétales de l'écoulement ont été visualisées sur les deux maquettes par un enduit de suie et de pétrole. Ainsi, les figures 2 ($12° < i < 18°$) et 3 ($18° < i < 25°$) montrent deux configurations caractéristiques de l'aile non adaptée : 1° bourrelet (A) de bord d'attaque, suivi d'une zone d'eau morte (B) à écoulement organisé et délimité par deux lignes de courant pariétales (C) contre l'écoulement sain de couche limite aux flancs de l'aile, le décollement turbulent s'amorçant au bord de fuite; 2° contact entre eau morte et décollement au bord de fuite avec formation d'un large couloir décollé (D) et d'un courant de cisaillement très intense aux flancs avec préfiguration de deux tourbillons latéraux (E). La figure 4 ($18° < i < 25°$) montre que l'adaptation réduit le bourrelet, les configurations 1° et 2° n'apparaissant qu'à des incidences beaucoup plus élevées dans le cas de l'aile adaptée. La seule influence de la profondeur adaptée se voit sur la variation de l'incidence à partir de laquelle ces configurations réapparaissent après l'adaptation. Ceci est bien reflété par l'allure des polaires, confondues dans la gamme d'incidence où l'intensité des bourrelets est réduite par l'adaptation.

(*) Séance du 4 juillet 1960.

(1) L. MALAVARD, *Emploi des analogies rhéoélectriques en aérodynamique* (*Agardograph*, 18, août 1956.

(2) G. HACQUES, *Problèmes de la surface portante annulaire traités par la méthode des analogies rhéoélectriques* (*P. S. T.*, 358, mars 1960).

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur l'introduction des idées statistiques dans la mécanique quantique des particules à spin.* Note (*) de M. **Jean-Claude Aron**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans une Note précédente (A) [1] nous avons proposé un modèle physique pour l'onde de spin. Dans une autre Note (B) [2] nous avons étudié les relations de la théorie de la diffusion avec la mécanique quantique d'un corpuscule sans spin.

La présente Note a pour objet d'introduire les idées statistiques dans la mécanique des particules à spin, et d'examiner dans quelle mesure elles permettent de préciser le modèle physique.

1. Nous avons dans (B) donné à la longueur $l_0 = \hbar/m_0 c$ et au temps $\tau_0 = \hbar/m_0 c^2$ le caractère de grandeurs minimales; si les équations de la mécanique quantique ont une base stochastique, elles sont donc incompatibles avec la conception de champs dont la variation serait sensible sur l_0, ou de groupes d'ondes de l'ordre de l_0. Dans ce cas, d'ailleurs, la vitesse conservative (définie dans B)

$$\vec{v} = \vec{u} - \frac{l_0 c}{2\rho} \overrightarrow{\text{grad}}\, \rho$$

prendrait, les variations de ρ étant finies sur l_0, des valeurs divergentes et voisines de c, ce qui disloquerait le groupe d'ondes. *La théorie de la diffusion supprime donc les états d'énergie négative*, puisque ceux-ci peuvent être éliminés quand on ne considère que des grandeurs d'ordre supérieur à l_0.

2. La densité étant ainsi toujours positive, il est loisible de la considérer comme une grandeur aléatoire. On serait ainsi amené à interpréter en ce sens la relation entre les invariants de Dirac

$$\rho^2 = \Omega_1^2 + \Omega_2^2;$$

alors Ω_1 ($\geqq 0$) serait la densité moyenne (ρ_m); Ω_2 serait l'écart quadratique, ρ la moyenne quadratique. Ceci ferait comprendre que les termes principaux de l'impulsion et de l'énergie de Dirac soient $m_0 \Omega_1 \vec{u}$ et $m_0 \Omega_1 c^2$, la densité moyenne jouant le rôle de la densité classique.

La relation qui définit la masse variable

$$M_0 = m_0 \sqrt{1 + \frac{\Omega_2^2}{\Omega_1^2}}$$

intervenant dans les équations du mouvement, s'écrirait alors simplement

$$\rho_m M_0 = \rho m_0.$$

Par la correspondance $\beta = \mathcal{A}\, [\mathcal{A} = -\operatorname{arc\,tg}(\Omega_2/\Omega_1)]$ trouvée dans (A) pour le mouvement élémentaire, l'onde physique prendrait le double caractère d'une onde de spin et d'une onde de densité.

Enfin, le terme $-cS_j(\partial\mathcal{X}/\partial x_i)$ du tenseur des tensions θ_{ij} pourrait correspondre à un transfert des régions agitées vers les régions calmes (analogue au transfert de chaleur).

3. Le terme d'interaction de spin dans l'énergie (équation de Pauli) peut aussi s'interpréter statistiquement; il s'écrit

$$W_1 = \frac{1}{2m_0}\sum_j \left|\overrightarrow{\text{grad}}\, S_j\right|^2 = \frac{h^2}{8m_0}\rho\frac{\bar{\beta}_0^2}{\bar{\sigma}^2},$$

$\bar{\beta}_0^2$ et $\bar{\sigma}^2$ étant respectivement les carrés des moyennes quadratiques, dans le volume dV considéré autour d'un point M, de l'angle du spin $\vec{S}$ avec $\vec{S}$ (M), et d'une quelconque des coordonnées. Cette expression, outre qu'elle paraît impliquer l'existence d'éléments individuels, confirme notre postulat sur la valeur physique des moyennes quadratiques. Dans le mouvement élémentaire (*voir* A) on trouve

$$W_1 = \frac{h^2}{8m_0}\rho\frac{\gamma^2}{r^2}$$

(r, rayon de l'orbite décrite par un point fictif P, γ angle maximal avec Oz du spin en P), ce qui permet de préciser la signification du point P. Soit R la moyenne quadratique des distances à Oz et supposons que les spins vibrent en phase dans le volume dV; on aura :

$$\beta_0 = \beta_m \cos\omega t, \qquad \bar{\beta}_0^2 = \frac{\bar{\beta}_m^2}{2} \qquad \text{et } R\sqrt{2\bar{\sigma}^2}.$$

Il suffit donc de prendre $\gamma^2 = \bar{\beta}_m^2$, $r = R$.

4. Il faut raccorder les mouvements élémentaires (où la diffusion ne s'applique pas) avec les processus stochastiques. Les dimensions des orbites et les durées des révolutions étant de l'ordre de l'espace et de la durée du parcours libre, les orbites pourraient être les trajectoires libres d'un élément à spin. Ou bien on pourrait imaginer des globules de probabilité (positions possibles d'un élément); le point P qui décrit l'orbite serait alors le point moyen d'un globule tournant et l'on se rapprocherait du modèle de rotateur relativiste ([3]) : nous avons en ce sens signalé dans (A) une concordance des périodes de rotation.

Cette conception permettrait peut-être, par analogie avec l'interprétation donnée du potentiel quantique, d'expliquer le potentiel d'interaction de spin par des chocs de toupies fictives (il faut que leurs dimensions soient de l'ordre de l_0 pour qu'on puisse espérer retrouver le terme d'interaction où la seule longueur est l_0); mais il nous paraît plus intéressant de concevoir comme des actions concrètes les couplages de spin, puisqu'ils donnent un support physique à l'onde quantique.

(*) Séance du 17 août 1960.
([1]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 992.
([2]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1059.
([3]) BOHM et VIGIER, *Phys. Rev.*, 109, 1958, p. 1882.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Invariance de jauge, masse du photon et forme asymptotique du propagateur du photon.* Note de M. **Bernard Jouvet**, présentée par M. Francis Perrin.

On expose une solution au vieux paradoxe de l'incompatibilité de l'invariance de jauge avec l'existence, certaine, d'une masse nue du photon; on en déduit une intégrale première des équations de l'électrodynamique quantique, s'exprimant comme une identité faisant intervenir la constante de structure fine (α) et que doit satisfaire le propagateur du photon (Δ_F^P). Cette équation détermine la forme asymptotique de Δ_F^P à tout ordre en α.

1. *Forme du lagrangien de l'électrodynamique quantique invariante de jauge.* — Inversant le raisonnement habituel, nous dirons qu'il existe une invariance de jauge classique de l'électrodynamique quantique, si le lagrangien associé au système d'électrons et de photons en interaction et plongés dans un potentiel externe constant non quantifié, a été déterminé par les conditions que :

(μ) : Le photon ait une masse observable nulle;

(W) : Les relations de Ward entre propagateurs renormalisés soient satisfaites :

$$(\mathrm{W}_1):\quad \Gamma_\mu(p) \equiv \left(\frac{\partial}{\partial(e\mathrm{A}_\mu)} \mathrm{S}_\mathrm{F}^{\mathrm{P}-1}(p, \mathrm{A})\right)_{\mathrm{A}=0} = \frac{\partial}{\partial p_\mu} (\mathrm{S}_\mathrm{F}^\mathrm{P}(p))^{-1};$$

$$(\mathrm{W}_n):\quad \Gamma_{\mu\nu\ldots}(p) \equiv \left(\frac{\partial^n}{\partial(e\mathrm{A}_\mu)\,\partial(e\mathrm{A}_\nu)\ldots} \mathrm{S}_\mathrm{F}^{\mathrm{P}-1}(p, \mathrm{A})_{\mathrm{A}=0}\right) = \frac{\partial^n}{\partial p_\mu\,\partial p_\nu,\ldots} \mathrm{S}_\mathrm{F}^{\mathrm{P}-1}(p).$$

C'est le cas, au plus bas ordre en α si, au lagrangien habituel

$$\mathcal{L}_1 = -z_2\,\overline{\psi}(\gamma\partial + m_0)\,\psi - \frac{1}{2} z_3\,\partial_\mu\varphi_\nu\,\partial_\mu\varphi_\nu - iez_1\,\overline{\psi}\gamma_\mu\psi(\varphi_\mu + \mathrm{A}_\mu)$$

sont soustraits les contre-termes de formes suivantes :

$$\frac{\delta\mu_1^2}{2}\varphi_\mu\varphi^\mu \quad \text{et} \quad \delta\mu_1^2\varphi_\mu\mathrm{A}^\mu$$

pour assurer respectivement (μ) et (W_1),

$$4\lambda_4\mathrm{A}_\mu\varphi^\mu\varphi_\nu\varphi^\nu \quad \text{et} \quad \lambda_4(2\mathrm{A}_\mu\mathrm{A}^\mu\varphi_\nu\varphi^\nu + 4\mathrm{A}_\mu\mathrm{A}_\nu\varphi^\mu\varphi^\nu)$$

pour (W_1) et (W_2). Comme un calcul explicite le montre, ces derniers termes sont nécessaires car l'interaction photon-photon n'est pas invariante de jauge, en dépit de l'affirmation courante que « puisque (cette interaction) est finie elle doit être invariante de jauge » [1]. Dans le calcul de Karplus et Neuman [2] une partie des termes en question s'annule en effet par raison de symétrie, mais le tenseur fini en ($\delta_{\mu\nu}\delta_{\lambda\sigma} + \delta_{\mu\sigma}\delta_{\nu\lambda} - \delta_{\mu\lambda}\delta_{\nu\sigma}$) ne s'annule qu'après l'usage explicite de la régularisation.

Généralisant aux ordres supérieurs en α et faisant jouer un rôle symé-

trique à φ_μ et A_μ, le lagrangien le plus général dont découle une électrodynamique quantique observable invariante de jauge est de la forme

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 - \lambda_2(\varphi + A)^2 - \lambda_4((\varphi + A)^2)^2 - \lambda_6((\varphi + A)^2)^3 + \ldots - \lambda_1^\mu(\varphi_\mu + A_\mu) - \lambda_0$$

avec

$$(\varphi + A)^2 \equiv (\varphi_\mu + A_\mu)(\varphi^\mu + A^\mu).$$

Nous avons aussi soustrait les densités d'énergie du vide, λ_0, et de courant du vide λ_1^μ, au lieu d'antisymétriser le courant. Les constantes λ_i sont déterminées en principe à tout ordre en α par les conditions (μ) et (W).

2. *Une solution au paradoxe de la masse du photon.* — S'appuyant sur des théorèmes généraux, on prétend d'habitude démontrer l'invariance de jauge de la matrice S et les propriétés (μ) et (W) en postulant celle des équations de l'électrodynamique quantique. Cependant nous venons de voir que l'invariance de jauge (classique) de la matrice S résulte d'un lagrangien qui, à cause des constantes $\lambda_{i\geqq 2}$ n'est pas invariant, en contradiction avec ces principes. Un calcul global de λ_2 montre que ce paradoxe n'est pas lié à l'usage de la théorie de perturbation ([3]). La solution de ce paradoxe est la suivante :

Contrairement à son apparence *$\mathcal{L}$ est invariant de jauge parce que les constantes λ_i ne sont pas invariantes de jauge.* On peut le voir en calculant, au plus bas ordre en α la masse du photon dans différentes jauges; suivant la méthode de Lehmann, on a globalement (supposant $\lambda_{i>4} = 0$) :

$$(1) \qquad \mu_0^2 \equiv \frac{\delta\mu^2}{z_3} = \frac{2\lambda_2}{z_3} = z_3 \int \rho_1 a\, da - \frac{4\lambda_4}{z_3} \langle 2\varphi_1\varphi_1 + \varphi_\mu\varphi^\mu \rangle_0,$$

où $\rho_1(a)$, défini par

$$[\varphi_\mu, \varphi'_\nu] = i \int (\rho_1(a)\,\delta_{\mu\nu} + \rho_2(a)\,\partial_\mu\partial_\nu)\,\Delta(x - x', a)\, da$$

est clairement invariant de jauge (classique ou quantique); μ_0^2 dépend de la jauge parce que $\langle \varphi_\mu \varphi^\mu \rangle_0$ n'est manifestement pas invariant de jauge. Si λ_4 était nul, le paradoxe serait une incohérence de la théorie.

L'invariance de $\mathcal{L}$ fournit dès lors les relations

$$(2) \qquad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1^\mu = \left(\dfrac{\partial}{\partial A_\mu}\lambda_0(A)\right)_{A=0}, \qquad \delta_{\mu\nu}\lambda_2 = \dfrac{1}{2\,!}\left(\dfrac{\partial^2}{\partial A_\mu \partial A_\nu}\lambda_0(A)\right)_{A=0}, \\ \lambda_4(\delta_{\mu\nu}\delta_{\rho\sigma} + \delta_{\mu\sigma}\delta_{\nu\rho} + \delta_{\mu\rho}\delta_{\nu\sigma}) = \dfrac{3}{4\,!}\left(\dfrac{\partial^4}{\partial A_\mu \partial A_\nu \partial A_\rho \partial A_\sigma}\lambda_0(A)\right), \qquad \ldots \end{array} \right.$$

reliant ainsi les constantes λ_i à l'expression de l'énergie du vide dans un potentiel externe constant. L'argument précédent, limité aux jauges constantes, se généralise au cas des jauges variables ou quantiques.

3. *Calcul des constantes $\lambda_{i>1}$.* — On montre que λ_0 peut se mettre sous la forme d'intégrales, sur les variables $[\lambda_i^{(0)} = \lambda_i/(z_3)^{1/2}$, $\alpha_0 = \alpha/z_3]$ et portant sur des fonctions ne faisant intervenir indifféremment qu'un seul

des propagateurs d'électron ou de photon [4]; dans le cas simple où $\lambda_{i>2} = 0$ on en dérive par exemple :

$$(3) \quad \begin{cases} \alpha_0 \dfrac{d\lambda_0}{d\alpha_0} = \dfrac{1}{2} \displaystyle\int d^4p\, \Delta_F^P(p, \alpha_0, \mu_0) \left[\Pi_1^{(0)}(p, \alpha_0, \mu_0) - \alpha_0 \dfrac{d\mu_0^2}{d\alpha_0} \right]; \\ \Delta_F^P = \dfrac{1}{p^2 + \mu_0^2 - \Pi_1^{(0)}}. \end{cases}$$

Utilisant (W) lorsque (2) sont satisfaites, nous pouvons dans le calcul des λ_i, remplacer $\partial/\partial(e\, A_\mu)$ par $\partial/\partial p_\mu$, p_μ étant l'impulsion des électrons dans les graphes du vide, puis, par intégration par partie, faire porter la dérivation sur l'impulsion des photons. Le système d'équations différentielles ainsi obtenu, et reliant les constantes λ_i au seul propagateur Δ_F^P donne, toutes réductions faites :

$$(4) \quad \frac{\partial}{\partial \alpha_0}\left(\frac{\mu_0^2}{\alpha_0}\right) = 0, \qquad \frac{\partial}{\partial \alpha_0}\left(\frac{\lambda_4^{(0)}}{\alpha_0^2}\right) = 0, \qquad \ldots .$$

Les constantes de renormalisation $\lambda_i^{(0)}$ sont donc égales à leurs valeurs calculées au plus bas ordre en α_0, c'est-à-dire :

$$(5) \quad \mu_0^2 = \frac{\alpha_0}{3\pi} \int_{4m_0^2}^{\infty} \sqrt{1 - \frac{4m_0^2}{a}} \left(1 + \frac{2m_0^2}{a}\right) da, \qquad \lambda_4^{(0)} = \frac{\alpha_0^2}{3\,!}, \qquad \lambda_6^{(0)} = 0, \qquad \ldots .$$

Les relations (2) et leurs conséquences (5) se « voient » aisément sur un simple calcul de graphes en théorie de perturbation.

4. *Une équation pour la forme asymptotique du propagateur du photon.* — Combinant les relations (1) et (5) nous obtenons après séparation des termes non invariants de jauge, l'équation que doit satisfaire $\rho_1(a, \alpha)$. Quoique chacun des membres de cette équation soit divergent, elle n'en relie pas moins entre elles les parties asymptotiques des ordres successifs de la théorie de perturbation, déterminant ainsi par itération ou globalement la partie asymptotique de Δ_F^P. Les résultats de cette étude seront présentés ultérieurement.

(1) *Loc. cit.* (p. 290), JAUCH et ROHRLICH, *Theory of photons and electrons*, Addison Wesley, 1955.

(2) KARPLUS et NEUMAN, *Phys. Rev.*, 80, 1950, p. 382 [formule (15)].

(3) L. EVANS, G. FELDMAN et P. T. MATTHEWS, prépublication, 1960; H. N. FRIED, *Phys. Rev.*, 118, 1960, p. 1643.

(4) E. R. CAIANIELLO, *Nuovo Cimento*, 10, 1955, p. 155; SAWADA, *Phys. Rev.*, 106, 1957, p. 377; A. KLEIN et PRANGE, *Phys. Rev.*, 112, 1958, p. 994.

GÉOPHYSIQUE. — *Génération de bruits très basse fréquence dans l'exosphère par effet Čerenkov.* Note (*) de M. **Roger Gendrin**, présentée par M. Louis de Broglie.

Les deux modes de propagation le long du champ magnétique. — La trajectoire suivie par l'énergie d'une onde très basse fréquence peut être dirigée suivant le champ magnétique H_0 :

— soit lorsque la normale à l'onde est dirigée elle-même suivant H_0; on a alors une dispersion, l'indice de groupe dépendant de la fréquence et passant par un minimum. D'où l'allure en forme de nez (« nose-whistler ») de certains siffleurs [1];

— soit lorsque l'angle θ vérifie la relation

(1) $$\cos\theta = 2x.$$

La vitesse de propagation est alors constante et égale à

(2) $$V_0 = \frac{cf_H}{2f_0} \quad [2].$$

Ce mode de propagation n'est possible que pour $x \leq 1/2$ [3].

Si en un point, on émet toutes les fréquences dans toutes les directions, et qu'on écoute à l'autre extrémité de la ligne de force du champ magnétique, on doit recevoir un signal dont le spectre en fonction du temps a l'aspect complet de la figure 1 qui donne le temps mis à parcourir la longueur $l = c/a$ par la fréquence f, dans l'hypothèse où f_0 et f_H sont constants.

Des considérations d'énergie montrent que le second mode est difficilement observable dans le cas d'une émission isotrope de toutes les fréquences. De plus, il ne faut pas s'attendre à avoir de telles émissions dans le cas des siffleurs naturels produits par les orages à cause de la forte réfraction de l'ionosphère; celle-ci rassemblant les normales aux ondes à leur entrée dans l'exosphère dans un petit cône axé sur la verticale du lieu.

L'effet Čerenkov comme source de bruit. — L'effet Čerenkov engendré par des particules relativement lentes ($\sim$ 10 000 km/s) d'origine solaire, est par contre capable d'émettre *sélectivement* chaque fréquence sous l'angle θ vérifiant la relation (1). Toute l'énergie se propage alors dans le second mode. La particule émet au même instant toutes les fréquences. Celles-ci se propageant à la même vitesse et suivant le même trajet, on doit enregistrer un bruit d'amplitude presque constante dans une large bande de fréquence, et ceci aussi longtemps que dure l'interaction des particules avec l'exosphère. C'est effectivement ce qui est observé [4].

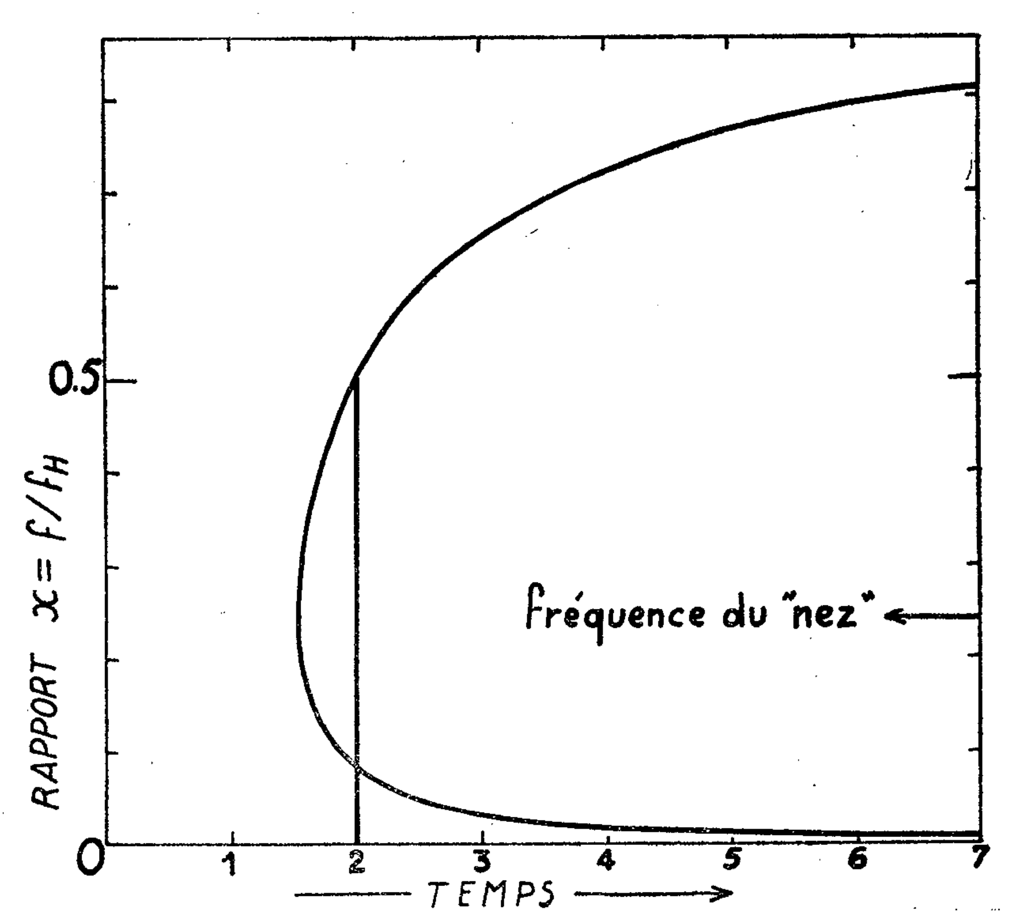
Démonstration. — La fréquence f, engendrée par une particule de vitesse $w = \beta c$, dirigée suivant le champ magnétique, est émise sous un angle θ tel que

(3) $$v_\varphi = w\cos\theta.$$

Étant donné la loi de dépendance de l'indice avec l'angle, il est facile de voir qu'on a en général deux angles d'émission donnés par

$$\cos\theta = \frac{x}{2\beta^2 a^2}\left(1 \pm \sqrt{1 - 4\beta^2 a^2}\right). \tag{4}$$

Il est donc nécessaire que les vitesses w soient faibles, phénomène déjà mis en évidence par Gallet dans l'étude d'un processus d'émission par un mécanisme analogue aux tubes à ondes progressives ([5]), ([6]).



Si la vitesse w est telle que

$$2\beta a = 1, \tag{5}$$

les deux angles d'émission sont confondus et vérifient alors la relation (1) qui est la condition nécessaire pour que l'énergie se propage dans la même direction que la particule.

Si l'on compare les relations (2) et (5), on s'aperçoit de plus que ceci a lieu lorsque *la vitesse de la particule est égale à la vitesse de propagation du rayon, commune à toutes les fréquences.*

Il est facile de montrer que ce genre d'émission et cette coïncidence sont dus au fait que les courbes C_x (points de coordonnée polaire n/a, θ) admettent pour enveloppe une droite perpendiculaire à H_0, et qu'ils se produiront dans tout milieu anisotrope et dispersif remplissant cette condition.

(*) Séance du 29 août 1960.
([1]) R. A. HELLIWELL, J. H. CRARY, J. H. POPE et R. L. SMITH, *J. Geophys. Res.*, 61, 1956, p. 139.
([2]) Les notations sont celles de la référence ([3]).
([3]) R. GENDRIN, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1065.
([4]) Référence suivante (*fig.* 7).
([5]) R. M. GALLET, *Proc. Inst. Rad. Engrs.*, 47, 1959, p. 211.
([6]) R. M. GALLET et R. A. HELLIWELL, *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 63 D, 1959, p. 21.

(*Centre National d'Études des Télécommunications, Issy-les-Moulineaux, Seine.*)

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE. — *Méthode d'investigation durant la construction de l'image latente par une exposition simultanée à la lumière rouge.* Note de MM. **Roger Schmitt** et **Pierre Cüer**, présentée par M. Francis Perrin.

On réalise sur la plaque photographique des expositions simultanées à la lumière actinique ou à des particules ionisantes, d'une part, et à un flux de lumière rouge, d'autre part. Par cette méthode, on met en évidence sur les émulsions ionographiques Ilford et à la température ambiante, une phase de la construction de l'image latente se prolongeant durant quelques dizaines de secondes après l'exposition actinique.

Pour mettre en évidence les différentes étapes de la construction de l'image latente, on peut étudier la variation de la densité en fonction du temps qui sépare l'exposition actinique et le développement. Étant donné l'inertie d'un développement, il est évident que les phases rapides de cette construction, dont les durées sont limitées à quelques dizaines et même quelques centaines de secondes, ne peuvent pas être observées par cette méthode.

Nous avons mis au point une investigation presque instantanée en réalisant une exposition complémentaire à une lumière rouge.

Le principe du montage expérimental est le suivant : une plaque photographique glisse sur une plaque métallique rectifiée, disposée horizontalement. La face émulsion de la plaque photographique est exposée à un flux uniforme de lumière actinique. Par contre, l'exposition complémentaire à la lumière rouge se fait par l'autre face, c'est-à-dire à travers le verre et l'émulsion de la plaque photographique. Pour cela, on a disposé en certains endroits de la plaque métallique des fentes, qui laissent passer le flux de lumière rouge, au-dessus desquelles la plaque photographique se déplace à vitesse constante.

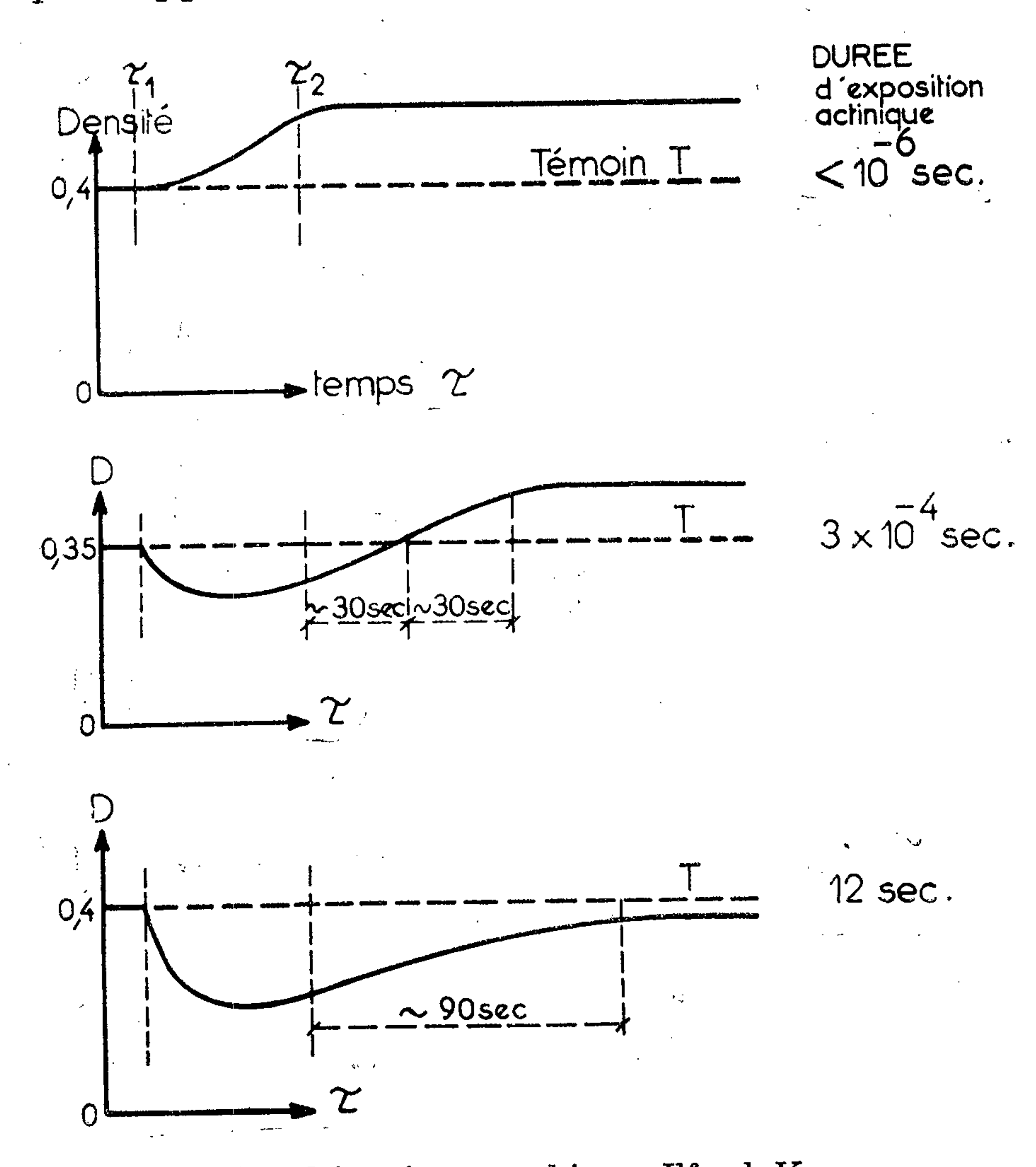
Le long d'une bande de la plaque photographique prise dans le sens du déplacement, chaque point reçoit le même flux de lumière rouge mais à des instants différents. Par contre, l'exposition actinique se réalise à un instant donné. De ce fait, le long de cette bande une zone correspond à des expositions simultanées; pour une autre zone, l'exposition complémentaire à la lumière rouge précède l'exposition actinique. Enfin, pour une troisième zone, elle se réalise après l'exposition actinique.

La durée de l'exposition actinique varie entre 10^{-6} s et quelques minutes, elle se fait à une lumière violette (longueur d'onde moyenne, 366 mμ). On utilise des filtres interférentiels (bandes passantes centrées autour de 650 et 700 mμ) pour l'exposition complémentaire à la lumière rouge. Pour ces longueurs d'onde, le verre et l'émulsion absorbent peu de lumière.

Pour les expositions aux particules ionisantes, un montage comparable au précédent est utilisé. La plaque photographique se déplace à faible

distance de deux sources homogènes de polonium et de thalium. A un instant donné, l'ensemble de la plaque photographique est exposé par le côté verre de la plaque, au flux de lumière rouge.

Pour les émulsions ionographiques Ilford G_5, K_5, C_2 et K_0 et pour les différents révélateurs non solvants utilisés, nous constatons que la variation de la densité par rapport à la plage témoin est plus importante lorsque les



Emulsion ionographique Ilford K_5.
Exposition actinique à des durées variables.
Exposition complémentaire à la lumière rouge
(longueur d'onde moyenne, 650 mμ) durant 48 s.
Développement au révélateur superficiel à la pyrocatéchine.
Variation de la densité (trait plein) par rapport à la plage témoin (pointillé) en fonction du temps séparant l'exposition actinique de l'exposition à la lumière rouge.

deux expositions sont simultanées, que si un certain intervalle de temps les sépare.

La figure illustre l'allure de cette variation de densité dans le cas de l'émulsion K_5 exposée à la lumière actinique à des temps différents.

Dans le domaine de o à τ_1, l'exposition complémentaire a précédé l'exposition actinique. Nous constatons que la pré-exposition à la lumière rouge n'influe pas sur l'image latente ultérieure. Elle ne crée qu'un léger voile, qu'on a déduit des courbes dans le cas de la figure.

Dans le domaine au-delà de τ_2, l'exposition complémentaire succède à

l'exposition actinique. Pour le point τ_2, les débuts des deux expositions sont simultanés.

Nous constatons que pour l'exposition actinique de 3.10^{-4} s, l'exposition simultanée à la lumière rouge crée un effet négatif, c'est-à-dire une diminution de la densité par rapport à la plage témoin. Un intervalle de temps d'environ 60 s est nécessaire entre les deux expositions pour retrouver un effet positif, c'est-à-dire une augmentation de la densité, à peu près constant et indépendant de l'intervalle de temps qui sépare les deux expositions.

De même, pour l'exposition actinique de 12 s, il faut un intervalle de temps d'environ 90 s pour atteindre un effet constant.

Nous pouvons prétendre que cet intervalle de temps correspond à une phase de la construction de l'image latente se poursuivant après l'exposition actinique.

En étudiant le comportement de l'image dite « interne », on retrouve la même variation de densité que dans le cas de l'image superficielle. Notamment, on observe un effet négatif prononcé dans la zone correspondant aux expositions simultanées.

Dans des études antérieures (1), nous interprétons l'effet négatif comme une plus grande dispersion des germes d'argent de l'image latente, et l'effet positif, comme une reconcentration de ces germes. Il est évident que lors de la formation des germes, la dispersion est la plus importante, ce qui explique l'effet négatif lors des expositions simultanées.

Pour l'exposition actinique de 10^{-6} s, les germes sont tellement dispersés que la redistribution par l'exposition complémentaire ne peut donner lieu qu'à une meilleure reconcentration des germes, donc un effet toujours positif.

Pour l'exposition aux particules ionisantes, on observe la même variation de densité que pour l'exposition de 10^{-6} s à la lumière. L'augmentation de la densité est un peu plus prononcée lorsque les expositions sont simultanées. Si l'on arrive à augmenter l'importance de ce dernier effet, on peut espérer mettre en évidence par cette méthode, l'instant d'un événement nucléaire au sein de l'émulsion ionographique.

(1) P. Cüer et R. Schmitt, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2831; R. Schmitt, *Thèse de Doctorat d'État*, Strasbourg, juin 1958.

CHIMIE MINÉRALE. — *Étude de la coprécipitation du palladium et du tellure; comparaison des coprécipités aux alliages obtenus par voie thermique.* Note de Mme **Marcelle Segui-Cros** et M. **Henri Triché**, transmise par M. Paul Pascal.

Les précipitations induites observées entre le palladium et le tellure, ainsi qu'entre le palladium et le sélénium, au cours de leur réduction, donnent naissance à diverses phases reproduisant les alliages obtenus par voie thermique. On décèle en particulier la formation d'une solution solide de tellure dans le palladium, qu'on met d'autre part en évidence par chauffage des éléments sous vide à 900° C.

L'un de nous a signalé (1) que la coprécipitation du palladium avec le tellure s'effectue avec formation de deux tellurures TePd et Te_2Pd. La formation de Te_2Pd qui pourrait correspondre à la valence 4 du palladium paraît surprenante en milieu réducteur à partir de solutions de palladium bivalent. Ce composé n'a par ailleurs été obtenu que par voie thermique. Sans vouloir le considérer *a priori* comme un composé intermétallique, il nous a paru intéressant de comparer les composés obtenus par coprécipitation aux phases observées par voie thermique.

Phases obtenues par voie thermique. — Gronvøld (2) a été amené à caractériser plusieurs phases Pd_4Te, Pd_3Te, Pd_2Te, PdTe et $PdTe_2$ et à admettre l'existence de $Pd_{2,5}Te$. Les alliages furent obtenus sous vide à 600° C et étudiés par diffraction des rayons X. Nous avons repris cette étude en opérant sous vide à 900° C et en introduisant avec les éléments de la poudre de graphite, afin d'éviter toute oxydation par des traces d'oxygène inclus ou adsorbé. Les alliages furent caractérisés par leurs diagrammes de diffraction X. On observe ainsi la formation quantitative des tellurures Te_2Pd et TePd pour les pourcentages atomiques respectifs de 29 et 50 % Pd.

Entre 50 et environ 80 %, une phase s'identifie, par son diagramme X, à celle observée par Gronvøld dans un domaine plus étroit : Pd_3Te. La phase Pd_2Te n'est pas décelée dans les alliages formés à 900° C. Entre 80 et 100 %, apparaît une solution solide de tellure dans le palladium. Le diagramme de diffraction X correspond à une dilatation du réseau du palladium, la limite de solubilité se fixe entre 80 et 83 % Pd. La dilatation se reproduit en présence ou en l'absence de carbone. La phase Pd_4Te obtenue par Gronvold n'est pas retrouvée à 900° C.

Coprécipitation du palladium et du tellure. — La coprécipitation est effectuée par réduction de solutions mixtes de chlorure de palladium et de tellurite de sodium. Nous avons fait varier les pourcentages et nous avons étendu entre 0,1 et 2 N le domaine de concentration en acide chlorhydrique du milieu réducteur en nous limitant au sulfate d'hydrazine. Remarquons que le terme « entraînement » du palladium par le tellure ne

peut être retenu pour l'ensemble des précipitations observées : en effet dans un milieu faiblement chlorhydrique (inférieur à 0,5 N) le palladium, lorsqu'il est seul, est précipité, tandis que le tellure seul ne l'est pas.

On observe la formation d'une solution solide de tellure dans le palladium pour les faibles pourcentages de tellure et dans un milieu peu chlorhydrique. En augmentant soit les proportions de tellure, soit la concentration en HCl, il apparaît les phases Pd_3Te et Pd_2Te dont les distances réticulaires correspondent à celles indiquées par Gronvøld. Enfin apparaissent les composés TePd et Te_2Pd qui seuls de tous ces composés correspondent aux valences habituelles des éléments. On peut schématiser nos résultats dans le tableau suivant :

	Solution.			
Phase solide.	H Cl.	Rapport pond. $\frac{Te}{Pd}$.	Rapport atom. $\frac{Te}{Pd}$.	Pourcentage atom. en Te.
Solution solide non saturée....	0,15	0,16	0,14	12
Solution solide presque saturée..	0,4 N	0,16	0,14	12
Pd_3Te......................	0,6 N	0,16	0,14	12
Pd_2Te......................	1 N	0,75	0,62	36
	0,15 N	4	3,33	76
PdTe......................	2 N	4	3,33	76
$PdTe_2$......................	2 N	4	3,33	76

On peut conclure que la formation des phases riches en tellure est liée à une augmentation de la concentration en acide chlorhydrique autant qu'aux fortes proportions en tellure dans les solutions de coprécipitation. Ce fait paraît s'expliquer au moins avec le sulfate d'hydrazine. Avec ce réducteur, en effet, c'est la concentration en acide chlorhydrique qui détermine la précipitation préférentielle du palladium et du tellure, donc la proportion des éléments prenant naissance à l'état colloïdal. Cet état naissant pourrait être considéré comme responsable de la formation des alliages à la température d'ébullition des coprécipitations; le mécanisme ne serait peut-être pas très différent de celui du frittage, méthode qui a d'ailleurs été utilisée pour la préparation d'alliages cuivre-tellure ([3]). Dans ce procédé, la pression et la température élevées permettent, d'une part le contact entre les réseaux cristallins et, d'autre part, la diffusion d'un élément d'un réseau dans l'autre avec modification éventuelle de la structure. Au cours de la coprécipitation, les germes formés peuvent adsorber les atomes des éléments réduits, qui s'allieraient alors directement. Les alliages ou les composés intermétalliques ainsi formés pourraient alors être considérés comme se constituant par l'union directe des éléments; la dernière étape de la coprécipitation ne serait pas une réaction d'ions, bien qu'on opère en solution.

Nous avons pensé que l'étude de la coprécipitation du palladium et du sélénium pourrait donner des résultats comparables à ceux de la coprécipitation du palladium et du tellure. L'entraînement du sélénium a été

étudié par Perez et Burriel [4] qui suggèrent la formule du composé SePd, par Bodes [5] dont les analyses ne lui permettent pas de conclure quant à la composition des coprécipités. Un travail rapide nous a permis de mettre en évidence deux phases cristallisées au cours des coprécipitations par le sulfate d'hydrazine en milieu chlorhydrique variant de 0,1 à 2 N. Nous avons pu également reproduire ces composés par voie thermique : l'un d'eux correspond à la phase cubique citée par Gronvøld [2] et à laquelle il attribue la composition Pd_3Se_8.

(1) Mme SEGUI-CROS, *Bul. Soc. Chim.*, 1960, p. 451-452.
(2) FREDRIK GRONVØLD et ERLING RØST, *Acta Chem. Scand.*, 10, 1956, p. 1620-1634.
(3) R. MOLÉ, *Thèse Sc.*, Paris, 16, 1952, p. 371.
(4) F. PINO PEREZ et F. BURRIEL MARTI, *An. R. Soc. esp. Fis. Quim.*, série B, 47, nos 9-10, 1951, p. 653-658.
(5) H. BODES, *Z. anal. chem.*, 153, 1956, p. 335-352.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la production de pipériténone dans la condensation de l'oxyde de mésityle et de la méthyl-vinylcétone par le tert-amylate de sodium.* Note de MM. **Yves-René Naves** et **Jean-Marie Conia**, présentée par M. Marcel Delépine.

La condensation de l'oxyde de mésityle avec la méthylvinylcétone par le tert-amylate de sodium, effectuée entre 15 et 20° donne, à côté des isoxylitones et d'une autre cétone, un peu de pipériténone vraie qui possède bien, ainsi que sa DNP, les caractères mesurés par l'un des auteurs sur les produits d'autres origines.

Nous avons montré dans une Note précédente [1] que les caractères attribués par Bergmann et Bracha [2] au produit de condensation de l'oxyde de mésityle avec la méthyl-vinylcétone au moyen du tert-amylate de sodium, regardé par eux comme étant la pipériténone, à savoir l'absorption dans l'ultraviolet de la cétone et de sa DNP, et le point de fusion de cette dernière, sont fort différents de ceux de préparations authentiques rapportés par l'un de nous et par d'autres auteurs [3], mais qu'ils correspondent, par contre, à ceux du mélange d'isoxylitones et d'une des DNP d'isoxylitone. Et de fait, nous avons obtenu principalement, en répétant l'opération décrite par les auteurs israéliens, non de la pipériténone, mais le mélange d'isoxylitones.

Shimizu, Ikeda et Ueda [4] viennent d'extraire la pipériténone de l'huile essentielle d'une variété de *Mentha rotundifolia* et aussi d'en faire la synthèse par oxydation selon Oppenauer et déshydratation du (-) hydroxy-1 pulégol (*p*-menthène-4 (8) (diol-1.3). Les caractères spectraux de la cétone, le point de fusion de sa DNP, sont en bon agrément avec les valeurs publiées par l'un de nous [3].

Par des Communications privées, en avril et en mai de cette année, Ueda nous a fait connaître deux Mémoires en cours d'impression dans lesquels il décrit la réduction de la pipériténone, de la menthone et de l'isomenthone au moyen de sodium dans l'ammoniaque. La « pipériténone » qu'il a utilisée était le produit rectifié par distillation du procédé de Bergmann et Bracha. Sa réduction a donné du (±) menthol et du (±) isomenthol identifiés par le spectre infrarouge et par la préparation des dinitro-3.5 benzoates. L'oxydation du mélange d'alcools a donné un mélange de menthone et d'isomenthone caractérisé par le spectre infrarouge. Notre collègue nippon nous a remis, en outre, des échantillons de ses diverses préparations.

Nous avons pu confirmer l'identité des dinitro-3.5 benzoates, et constater que la « pipériténone » brute isolée par distillation renfermait, d'après

la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie infrarouge, à côté d'isoxylitones notamment, environ 15 % de pipériténone vraie. L'absorption ultraviolette présentait, dans l'alcool, $\lambda_{max} = 238$ et 296 mμ (avec pour M = 150; log ε = 3,71 et 3,94); dans cette absorption, les caractères d'isoxylitones l'emportent sur ceux de la pipériténone.

Étant donné ces constatations, nous avons repris l'étude de la condensation de l'oxyde de mésityle avec la méthyl-vinylcétone selon Bergmann et Bracha et nous avons constaté que si, au lieu d'introduire dans le mélange des cétones, le tert-amylate de sodium à 0° C on laisse la température monter à 15-25°, de la pipériténone apparaît dans le produit de la réaction. La réaction n'est d'ailleurs accompagnée d'un effet thermique appréciable qu'au cours de l'introduction du premier tiers de la quantité de réactif de condensation prescrite.

Les mélanges de cétones $É_3$ 70-130° obtenus par une première rectification ont été repris méthodiquement dans l'appareil de distillation à bande tournante de Haage dans les conditions de haute efficacité. Nous avons étudié séparément les fractions $É_3$ 70-80° et celles $É_3$ 80-95°. Les premières fractions : d_4^{20} 0,973 à 0,976; n_D^{20} 1,5230 à 1,5250, renfermaient, à côté d'isoxylitones et d'une cétone inconnue, de la pipériténone. Ces fractions ont conduit à la DNP de l'une des isoxylitones, F 157°, déjà décrite [1], et à celle de la pipériténone, F 183-184° (trouvé %, C 58,05; H 5,56; N 16,87; $\lambda_{max} = 392$ mμ, avec log ε = 4,41 dans $CHCl_3$; spectre infrarouge identique à la référence).

La chromatographie de vapeurs de l'ensemble des premières fractions a indiqué une teneur de 28 %, de la pipériténone ajoutée servant d'étalon. L'éluat (0,1 pour 1,5 g), en chromatographie de vapeurs préparative, possédait les caractères d'absorption ultraviolette et infrarouge de cette cétone [avec notamment, en solution alcoolique, $\lambda_{max} = 243$ et 278 mμ (log ε = 4,1 et 3,9)].

Les autres fractions : d_4^{20} 0,9510 à 0,9577; n_D^{20} 1,5130 à 1,5203, étaient constituées d'isoxylitones (spectre ultraviolet $\lambda_{max} = 238$ et 297 mμ; log ε = 3,10 et 3,98; spectre infrarouge; DNP, F 156,5-158° et 178-179°) [5].

On peut penser que la cétone $C_{10}H_{14}O$ (C 79,8; H 9,56 %) éluée en chromatographie de vapeurs avant la pipériténone du Reoplex 100 de Geigy monté sur celite, dont les solutions alcooliques ont $\lambda_{max} = 233,5$ et 315 mμ; log ε = 3,56 et 3,83, et qui est donc une diénone conjuguée sans contrainte stérique notable, est l'*o*-menthadiène-2 (8).6 one-5 résultant, comme la pipériténone, de la déshydratation du produit de condensation de l'oxyde de mésityle avec la méthyl-vinylcétone.

Ainsi donc, cette condensation effectuée selon Bergmann et Bracha, mais en opérant au-dessus de 0°, entre 15 et 20° par exemple, donne moins de 8 % de la théorie de pipériténone vraie, ce qui explique que ces auteurs

aient observé des réactions caractéristiques de la pipériténone à partir du produit de réaction. *Mais les caractères physiques qu'ils ont cru devoir attribuer à la pipériténone étaient ceux des isoxylitones*, produits prédominants, et *la DNP qu'ils ont attribuée à la pipériténone était celle d'une des isoxylitones*.

(1) J. M. Conia et Y. R. Naves, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 356.
(2) E. D. Bergmann et R. Bracha, *J. org. Chem.*, 24, 1959, p. 994.
(3) Y. R. Naves et J. M. Conia, *Bull. Soc. Chim.*, 1960, p. 378.
(4) S. Shimizu, N. Ikeda et H. Ueda, *Bull. agric. chem. Soc. Japan*, 24, 1960, p. 324.
(5) J. Wiemann, B. Furth et G. Dana, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3675.

(*Vernier-Genève, Suisse et Faculté des Sciences, Caen.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèse de l'acide céto-9 décène-2-trans oïque* (« *substance royale* ») *et de l'acide céto-8 nonène-2-trans oïque.* Note de MM. **Michel Barbier, Edgar Lederer** et **Tadasi Nomura**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les glandes mandibulaires des reines d'abeilles (*Apis mellifica* L.) sécrètent une « substance royale » (« Queen substance »), qui est responsable de l'inhibition de la construction des cellules royales [1], [2]. Des travaux récents [3], [4] ont permis d'établir pour ce composé la structure (V) d'un acide céto-9 décène-2 oïque. La synthèse de cet acide à partir de l'acide azélaïque, en neuf étapes, a été décrite par Callow et Johnston [3]. Le produit obtenu par ces auteurs, F 45-52°, est identique au produit naturel, et doué des mêmes propriétés biologiques.

Nous proposons une nouvelle synthèse, conduisant en quatre étapes et avec des rendements convenables, à un acide céto-9 décène-2-trans oïque, F 51-54°, identique au produit naturel, et biologiquement actif.

Par action de l'iodure de méthylmagnésium sur la cycloheptanone (I), on obtient le méthyl-1 cycloheptanol-1 (II), $É_{20}$ 82-85° [5]. La distillation de ce carbinol sur $KHSO_4$ suivie d'une seconde distillation, conduit au méthyl-1 cycloheptène-1 (III), $É_{760}$ 130-135° [5]. L'ozonisation dans l'acide acétique à 0°, suivie de l'ouverture de l'ozonide en présence de poudre de zinc [6], donne le céto-7 octanal (IV) qui est débarrassé des impuretés acides par lavages au carbonate de sodium N. Cet aldéhyde brut est condensé immédiatement avec 1,5 fois la quantité théorique d'acide malonique, en présence de pyridine; on chauffe 15 mn à 50°, puis 1 h 30 mn à 120°. Après les séparations et lavages habituels, la fraction acide cristallise (F 40-49°). Le rendement global de cette synthèse est de 20 % par rapport à la théorie. Le produit brut est purifié par distillation dans un appareil à distillation moléculaire; on sépare une petite fraction visqueuse passant entre 60 et 80° (température du bain d'huile) sous 0,15 mm. Le reste du produit distille entre 80 et 110°. Après deux cristallisations dans le mélange éther-pentane à 0°, la substance se présente sous forme de plaques F 51-54°.

(I) $\xrightarrow{MgICH_3}$ (II) $\xrightarrow{KHSO_4}$ (III)

$$\xrightarrow[Zn]{O_3} CH_3—\underset{\underset{O}{\|}}{C}—(CH_2)_5—CHO \xrightarrow[\text{pyridin}]{\text{Acide malonique}} CH_3—\underset{\underset{O}{\|}}{C}—(CH_2)_5—\overset{H}{\overset{|}{C}}=\underset{\underset{H}{|}}{C}—COOH$$

(IV) (V)

L'équivalent moléculaire déterminé par titrage est de 180; calculé pour $C_{10}H_{16}O_3$: 184. Analyse élémentaire : calculé %, C 65,19; H 8,75; trouvé %, C 65,48; H 8,79; λ_{max} 2140 (éther), $\varepsilon = 12\,100$. Le spectre infrarouge possède trois bandes à 5,85, 8,10 et 8,65 μ, caractéristiques d'un groupement méthyl-cétone; il possède aussi les bandes du carboxyle α, β-insaturé à 5,92 et 6,08 μ. L'acide synthétisé fournit une réaction fortement positive avec l'hypoiodite de sodium (formation d'iodoforme).

En ce qui concerne la configuration de la double liaison qui n'avait pas encore été précisée, on sait que la condensation selon Knœvenagel conduit à des acides α, β-insaturés de configuration trans (*voir* à ce sujet les synthèses des acides hydroxy-10 décène-2 oïque cis et trans) [7], [8].

La présence d'une bande à 10,2 μ dans les spectres infrarouges du produit synthétique et du produit naturel, montre que la double liaison est dans les deux substances trans [7], [8].

L'identité de la substance synthétique (V) avec la « substance royale » naturelle, ressort des faits suivants. Le point de fusion de mélange des deux substances ne présente pas de dépression. Les spectres infrarouges, ainsi que les volumes de rétention des esters méthyliques, en chromatographie gaz-liquide à 200° [2] sont identiques. La substance synthétique présente la même activité biologique que la substance naturelle; en effet, le test d'inhibition de la construction des cellules royales, effectué avec l'acide obtenu par synthèse est positif. Cet essai a été réalisé avec une concentration de 0,1 mg pour 150 abeilles [9].

La même série de réactions, menée à partir de la cyclohexanone (VI), a conduit au méthyl-1 cyclohexanol-1 (VII), $É_{22}$ 73° [10], puis au méthyl-1 cyclohexène-1 (VIII), $É_{760}$ 112° [11]; l'ozonolyse suivie de l'ouverture en présence de poudre de zinc, donne le céto-6 heptanal (IX), qui, condensé aussitôt sur l'acide malonique, donne l'acide céto-8 nonène-2-trans oïque (X). Cet acide distille dans un appareil à distillation moléculaire entre 75 et 105° sous 0,15 mm. On cristallise deux fois dans le mélange éther-pentane; F 46-51°. Le produit se présente sous forme d'aiguilles.

$$\text{(VI)} \xrightarrow{\text{MgICH}_3} \text{(VII)} \xrightarrow{\text{KHSO}_4} \text{(VIII)}$$

$$\xrightarrow[\text{Zn}]{\text{O}_3} \underset{\text{(IX)}}{CH_3{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}(CH_2)_4{-}CHO} \xrightarrow[\text{pyridine}]{\text{Acide malonique}} \underset{\text{(X)}}{CH_3{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}(CH_2)_4{-}\overset{H}{C}{=}\underset{H}{C}{-}COOH}$$

(VI) (VII) (VIII)

λ_{max} 2150 (éther), $\varepsilon = 12\,000$. Le spectre infrarouge de cette substance est identique à celui de l'acide céto-9 décène-2 trans oïque naturel ou synthétique précédemment décrits. Équivalent moléculaire déterminé par

titrage : 165; calculé pour $C_9H_{14}O_3$: 170. Analyse élémentaire : calculé %, C 63,51; H 8,29; trouvé %, C 63,55; H 8,26.

Les essais biologiques effectués avec 0,120 mg pour 150 abeilles, montrent que l'acide céto-8 nonène-2-trans oïque n'inhibe pas la construction des cellules royales.

(1) C. G. Butler, R. K. Callow et N. C. Johnston, *Nature*, London, 184, 1959, p. 1871.

(2) M. Barbier et J. Pain, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3740.

(3) R. K. Callow et N. C. Johnston, *Bee World*, 41, 1960, p. 152.

(4) M. Barbier et E. Lederer, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4467.

(5) O. Wallach, *Liebigs Ann.*, 345, 1906, p. 139; M. Godchot et P. Bedos, *Comptes rendus*, 184, 1927, p. 208.

(6) F. L. Benton et A. A. Kiess, *J. Org. Chem.*, 25, 1960, p. 470.

(7) G. I. Fray, E. D. Morgan et Sir R. Robinson, *Tetrahedron Letters* n° 13, 1960, p. 34.

(8) G. I. Fray, R. H. Jaeger et Sir R. Robinson, *Tetrahedron Letters* n° 4, 1960, p. 15.

(9) Mlle Pain, Station de Recherches apicoles, Bures-sur-Yvette, a bien voulu effectuer ces essais.

(10) K. v. Auwers et P. Ellinger, *Liebigs Ann.*, 387, 1912, p. 200.

(11) W. A. Roth et K. v. Auwers, *Liebigs Ann.*, 407, 1914, p. 154.

(*Institut de Biologie physico-chimique, Paris.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Chlorométhylation de quelques méthoxycétones.* Note (*) de MM. **Jacques Delobelle, Marcel Fétizon** et **Gilles Moreau**, transmise par M. Jacques Tréfouël.

La chlorométhylation de la méthoxy-6 tétralone et celle de la (±) méthoxy-6 podocarpatriénone-9 conduisent à des résultats différents en dépit de la parenté des deux structures (1).

La réalisation d'une synthèse totale de l'éther méthylique du (±) nimbiol III à partir de la méthoxy-6 podocarpatriènone I (2) avait conduit à examiner parallèlement la même suite de réactions effectuées à partir de la méthoxy-6 tétralone-I (IV). *Les résultats ont été complètement différents dans les deux séries.*

I → (HCHO, HCl) → II → → III

IV → (HCHO, HCl) → V → VI, VII, VIII → IX

VI : X = $-S-C(=NH)(NH_2) + Cl^-$
VII : X = $-SH$
VIII : X = H

X → XI → XII

En effet, la cétone I est chlorométhylée en position 7 (II) comme le montrent le spectre infrarouge du produit obtenu et la conversion ultérieure de II en éther méthylique du (±) nimbiol (2).

Dans les mêmes conditions, la méthoxy-6 tétralone-I est chlorométhylée exclusivement, semble-t-il, en position 5.

IV, traité par le trioxyméthylène et l'acide chlorhydrique dans l'acide acétique, conduit à une chlorométhyl méthoxy tétralone V; F 105° (hexane).

Le spectre infrarouge de V comporte une bande intense à 823 cm^{-1} caractéristique de deux hydrogènes vicinaux sur un noyau aromatique ([3]).

La structure de V a d'ailleurs été établie par une voie purement chimique : la chlorométhylcétone V réagit avec la thiourée dans l'éthanol à reflux en donnant le sel d'isothiouronium VI; F 215-216° (éthanol), aisément

	I. R. (800-900 cm^{-1})	U.V. λ_m	log.ε
I	866, 852, 825, 818	226 227	3,98 4,06
II	866	232 279	4,27 4,16
III	859	207 232 279	4,13 4,13 4,11
IV	896, 883, 868, 848, 830	226 276	4,00 4,18
V	878, 855, 823	234 278	4,30 4,13
VI	870, 826		
VII	882, 860, 823	230 283	4,18 4,14
VIII	825, 802	212,5 284	3,94 3,22
IX	863, 849, 809	210 221 271,5	4,04 4,09 4,12
X	852	228 272	4,35 4,17
XI	880, 842, 806	225,8 273,9	4,17 4,09

transformé en thiol VII par la soude aqueuse; F 70-71° (éthanol-eau). Ce thiol, traité par le nickel Raney dans l'éthanol bouillant pendant 6 h, fournit la *méthyl-5 méthoxy-6 tétralone* VIII [F 111-112°, seule ou mélangée avec un échantillon authentique, préparé d'après ([4]) ([5])], 2.4-dinitrophénylhydrazone; F 255-257° (pyridine-méthanol).

VIII est d'ailleurs réduit par la méthode de Wolff-Kischner en méthyl-5 tétrahydro-1.2.3.4 naphtol-6 IX [F 113°,5-114°,5 seul ou mélangé avec un échantillon authentique ([4])].

Cette suite de réactions a été reprise avec la *méthoxy-4 méthyl-2 acétophénone* X.

Le groupe chlorométhyl s'introduit cette fois en position 5. On obtient la cétone XI (F 94-95°). La position 5 du groupe chlorométhyl est démontrée par l'examen du spectre infrarouge et par la transformation de XI en *diméthyl*-2,5 *méthoxy*-4 *acétophénone* XII (F 79-80° seule ou mélangée avec un échantillon authentique) (6).

Il semble donc qu'on puisse étendre à la méthoxy-6 *tétralone les résultats bien connus sur la substitution électrophile de la méthoxy*-6 *tétraline, qui est attaquée en position* 5 (*effet Mills-Nixon*) (7).

L'encombrement stérique du sommet 5 de la (±) méthoxy-6 podocarpatriènone-9 (I) serait donc la cause de la substitution observée en 7. Bien qu'aucune étude cinétique n'ait pu être envisagée, on a d'ailleurs remarqué que la chlorométhylation de I est notablement plus lente que celle de IV, ce qui confirme ce point de vue.

Une étude similaire de la chlorométhylation de la méthoxy-5 indanone-1 est actuellement en cours.

(*) Séance du 1er août 1960.

(1) Les résultats des analyses, correspondant à la théorie à moins de 0,3 % près, n'ont pas été reproduits.

(2) M. Fétizon et J. Delobelle, *Tetrahedron Letters*, 1960, p. 9-16.

(3) L. J. Bellamy, *The infra-red spectra of complex molecules* (2nd edition, 1958, p. 78).

(4) Martin et Robinson, *J. Chem. Soc.*, 1943, p. 491.

(5) Les constantes physiques indiquées sont : F 112-113°, 2-4 DNP, F 249-250°.

(6) von Auwers, Bundesmann et Wieners-Liebigs, *Ann. Chem.*, 447, 1926, p. 182.

(7) Remick, *Electronic Int. Org. Chem.*, New-York, 1949, p. 307.

CRISTALLOGRAPHIE. — *Sur le pouvoir rotatoire des corps cholestériques.* Note (*) de M. **René Cano**, présentée par M. Jean Wyart.

Loin de la longueur d'onde d'inversion, dans la région normale du spectre, le pouvoir rotatoire d'un mélange d'un corps cholestérique, le *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'amyle actif et d'un corps nématique, le *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'isoamyle, varie linéairement avec l'inverse du titre en produit cholestérique. Le *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'amyle racémique est nématique.

Parmi les corps cholestériques le *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'amyle actif est l'un des plus importants car il donne facilement par fusion des plages liquides homogènes de quelques microns d'épaisseur présentant un pouvoir rotatoire élevé; Friedel (1) en fait le type des corps dextres et c'est en l'étudiant que Grandjean (2) mit en évidence la structure stratifiée de ces plages.

Il est très difficile malheureusement d'obtenir de l'alcool amylique pur : l'industrie livre sous le nom d'alcool amylique de fermentation un mélange de deux isomères, à savoir l'alcool isoamylique et le méthyl-2-butanol lévogyre, dont les points d'ébullition sont très voisins, de telle sorte que les études quantitatives portant sur ce produit ont donné des résultats discordants selon l'origine des alcools amyliques employés.

A partir d'un mélange titrant 23,3 % en alcool actif, nous avons obtenu par distillation fractionnée avec une colonne à bande tournante, des mélanges de différente composition et pu ainsi préparer des esters titrant de 2,29 à 54,9 % en *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'amyle actif (3).

L'ester le plus pauvre en corps actif a donné par fusion un cristal liquide du type nématique, sans pouvoir rotatoire. On peut donc admettre que le *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'isoamyle donne par fusion une phase nématique et que notre étude porte sur des mélanges d'un corps nématique et d'un corps cholestérique.

Les autres esters préparés sont nettement cholestériques : ils sont doués d'un pouvoir rotatoire extrêmement fort. Ils ne présentent pas de longueur d'onde d'inversion dans le visible. Le sens de leur pouvoir rotatoire indique que cette longueur d'onde se trouve rejetée dans l'infrarouge; le visible constitue donc la région normale du spectre au sens où l'entend Friedel (4). Nous avons mesuré le pouvoir rotatoire ρ par la méthode « spectropolarimétrique » de Stumpf (5) qui présente l'avantage d'éliminer en grande partie le facteur temps puisqu'on obtient sur un seul cliché la courbe de dispersion rotatoire pour une température donnée. Les résultats (*voir* tableaux) montrent que pour une température et une longueur d'onde données le pouvoir rotatoire augmente rapidement à mesure que la teneur en corps cholestérique décroît : pour la température de 100° et la longueur d'onde 4 678 Å par exemple, le pouvoir rotatoire passe de 23 450 à 64 400°

par millimètre lorsqu'on passe de l'ester à 54,9 à celui à 12,3 %. Ce résultat, en apparence étonnant, avait été déjà observé par Friedel [4] en examinant des mélanges d'azoxyanisole (nématique) et d'acétate de cholestérol (cholestérique). Il est encore plus intéressant de tracer les courbes donnant le pouvoir rotatoire en raison inverse du titre τ (*fig.* 1 et 2). *Aux erreurs d'expérience près les points représentatifs sont alignés : le pouvoir rotatoire varie donc linéairement avec l'inverse du titre dans la région normale du spectre.*

Pouvoir rotatoire ρ *en degrés par millimètre* (*erreur* 4 %).

Ester $\tau = \frac{54,9}{100}$.

θ. λ(Å)...	4678.	5086.	5461.	5791.	6438.	6908.
85°.......	31 300°	20 400°	16 170°	13 420°	9 870°	8 540°
90........	28 400	18 750	14 460	12 260	8 900	7 900
95........	26 500	17 650	13 400	11 260	8 250	7 330
100........	23 450	15 260	12 080	10 180	7 650	6 500
105........	19 380	12 510	9 690	8 070	6 150	5 080
110........	11 150	6 900	5 300	4 540	3 600	

Ester $\tau = \frac{36,8}{100}$.

θ. λ(Å)...	4678.	5086.	5461.	5791.	6438.	6908.
85°.......	42 400°	29 100°	23 000°	18 530°	13 360°	11 240°
90........	38 800	25 900	20 070	16 720	12 460	10 220
95........	33 900	23 000	17 900	14 860	11 380	9 080
100........	28 900	19 230	15 220	12 340	9 020	7 820
105........	25 000	16 600	12 600	10 510	7 600	6 600

Ester $\tau = \frac{23,3}{100}$.

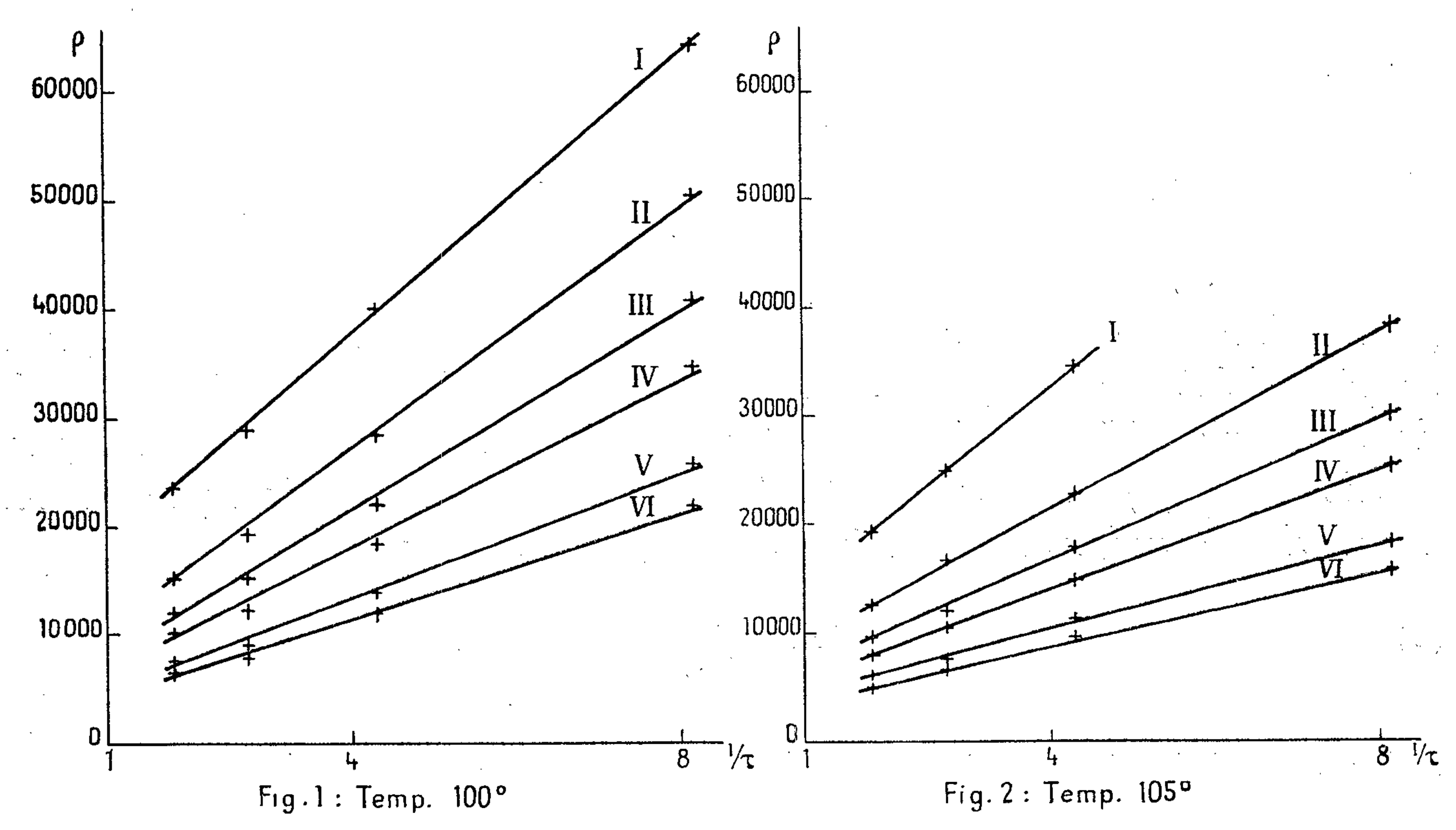
θ. λ(Å)...	4678.	5086.	5461.	5791.	6438.	6908.
90°.......	54 100°	34 600°	28 100°	23 460°	17 780°	14 400°
95........	44 800	31 500	25 200	21 020	16 000	13 320
100........	40 000	28 400	22 000	18 390	13 840	12 070
105........	34 500	22 610	17 800	14 790	11 300	9 600
110........	20 930	14 540	11 410	9 370	6 890	6 180

Ester $\tau = \frac{12,3}{100}$.

θ. λ(Å)...	4678.	5086.	5461.	5791.	6438.	6908.
100°.......	64 400°	50 400°	40 800°	34 800°	25 700°	21 850°
105........	50 100	38 300	30 300	25 500	18 470	15 870

Par ailleurs, nous avons préparé pour la première fois l'ester de l'acide *p*-cyanobenzalaminocinnamique et de l'alcool amylique racémique. Cet ester présente une phase cristal liquide nématique : en effet, si l'on examine au microscope polarisant en lumière monochromatique une préparation en forme de coin faite entre deux lames de verre bien nettoyées et convenablement frottées de manière à assurer une bonne orientation, on constate qu'elle s'éteint quatre fois par tour et qu'elle présente des franges de biré-

fringence parallèles à l'arête du coin. De plus, à l'extinction elle est le siège d'un vif fourmillement mettant en évidence le mouvement brownien. Le *p*-cyanobenzalaminocinnamate d'amyle actif étudié jusqu'ici a été préparé avec du méthyl-2-butanol gauche, le seul qu'on rencontre dans la nature : il donne un corps cholestérique dextre. Il est vraisemblable que



Les courbes I, II, III, IV, V et VI correspondent aux longueurs d'onde 4 678, 5 086, 5 461, 5 791, 6 438 et 6 908 Å.

l'ester préparé avec l'alcool droit donnerait un corps cholestérique sénestre. L'ester racémique peut être considéré comme un mélange en proportion égale d'un corps dextre et d'un corps sénestre, d'où la disparition de tout pouvoir rotatoire par compensation. Le fait que ce mélange soit nématique est une justification supplémentaire de l'opinion de Friedel quand il ne voit dans l'état cholestérique qu'une manière d'être particulière de l'état nématique, c'est-à-dire la forme que prend le corps nématique lorsqu'il possède la dissymétrie énantiomorphe.

(*) Séance du 11 juillet 1960.

(1) G. FRIEDEL, *Ann. Phys.*, 2, n° 18, 1922, p. 273-474.

(2) F. GRANDJEAN, *Comptes rendus*, 172, 1921, p. 71.

(3) Produits préparés au Laboratoire de Chimie de Mlle G. Cauquil sous la direction de M. A. Casadevall.

(4) G. FRIEDEL, *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 475.

(5) F. STUMPF, *Inaug. Diss. Göttingen*, 1911, ou *voir* BRUHAT, *Traité de Polarimétrie*, p. 350.

(*Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie, Faculté des Sciences, Montpellier.*)

GÉOPHYSIQUE. — *Relation empirique approximative entre la variation séculaire magnétique et les fluctuations de la rotation terrestre.* Note de M. **Louis Cagniard**, présentée par M. André Danjon.

Pour affranchir l'Heure, déterminée par les observations astronomiques, de l'effet des variations de la vitesse de rotation, on applique une correction ΔT qui s'exprime, en secondes, par

$$\Delta T = 0{,}7232\,a + 2{,}99.10^{-3}a^2 + \Delta T_m + \Delta T_S \qquad (1)$$

(a, millésime de l'année, à partir de 1900,0; ΔT_S, terme saisonnier stoykien, de périodicité annuelle; ΔT_m, terme aléatoire de E. Brown dont les variations, depuis 1850, sont représentées sur la partie gauche de la figure).

Soit Ω (rad/s) l'écart instantané de la vitesse de rotation par rapport à une vitesse *uniforme* de référence, $\Omega_0 = 7{,}292\ldots\ 10^{-5}$:

$$\Delta T = -\frac{1}{\Omega_0}\int_{t_0}^{t} \Omega\, dt. \qquad (2)$$

A ΔT_m correspond ainsi une fluctuation aléatoire de vitesse,

$$\Omega_m = -\Omega_0 \frac{d}{dt}(\Delta T_m)$$

qui, positive de 1820 à 1898, devint négative jusqu'en 1919 pour redevenir positive depuis lors. Durant ce laps de temps, les valeurs extrêmes furent $4{,}13.10^{-12}$ vers 1872 et $-1{,}72.10^{-12}$ vers 1902.

Astronomes et géophysiciens soupçonnent depuis longtemps [1] certaine *corrélation* entre les fluctuations aléatoires de la rotation et les fluctuations aléatoires du Magnétisme terrestre, fluctuations qu'à l'instar des astronomes les géophysiciens feraient bien de dissocier nettement de ce qu'ils nomment, sans faire de nuances, variation séculaire. On a remarqué surtout que le réseau mondial des isopores [2] de la composante verticale éprouve, en gros, une migration vers l'Ouest, à raison de 0,2 à 0,3 degré par an. Or cette dérive des isopores n'est pas uniforme. Elle s'est nettement ralentie durant les quelque vingt ans au cours desquels Ω_m devint négatif.

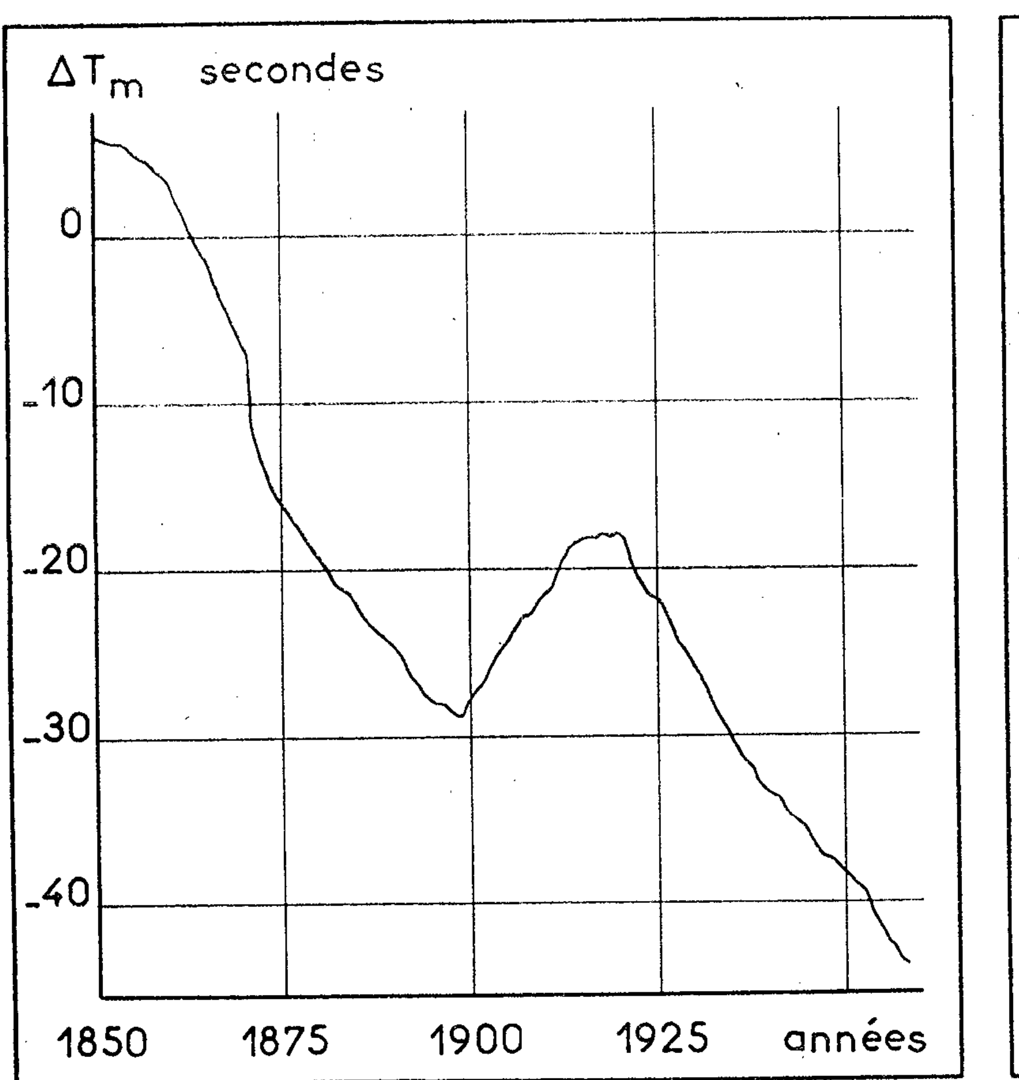
Dans le même ordre d'idées, mais d'une façon bien autrement précise, Stoyko crut pouvoir affirmer en 1951 que les variations $\Delta\mathcal{H}$ de l'intensité $\mathcal{H}$ du champ magnétique sont à peu près proportionnelles à ΔT_m [3] :

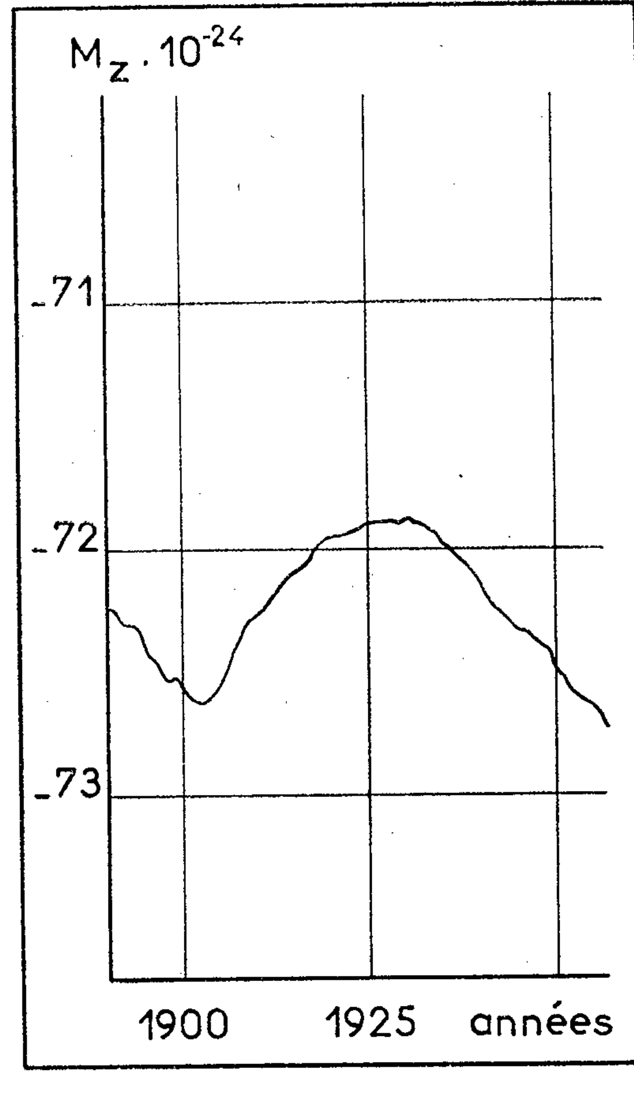
$$\Delta\mathcal{H} = -36{,}4.\Delta T_m \qquad (\mathcal{H}\text{, gammas; } \Delta T_m\text{, secondes}). \qquad (3)$$

Par suite d'une erreur, que j'avais relevée à l'époque [4], Stoyko attribuait à sa formule (3) la signification d'une proportionnalité entre le moment géomagnétique et la vitesse de rotation. Or, indépendamment de la disproportion flagrante d'ordre de grandeur des variations relatives de $\mathcal{H}$ et

de celles de la vitesse angulaire, ΔT_m n'est pas proportionnel à Ω_m, mais à son intégrale. Une formule rigide ne saurait d'ailleurs valoir sur le Globe entier car il est bien connu que, d'un Observatoire à l'autre, l'évolution de la variation séculaire d'un élément magnétique quelconque change profondément d'allure, parfois du tout au tout. La formule (3) vaut donc, ni plus ni moins, pour le lieu (Paris-Potsdam) et pour les 65 ans, de 1883 à 1948, auxquels se rapportent les données magnétiques dont s'est servi l'auteur.

Plutôt cependant que de rejeter, sans autre forme de procès, les suggestions imparfaites mais originales de Stoyko, il est prudent de se dire que





la vérification satisfaisante de (3), *dans les conditions bien déterminées que j'ai dites*, n'est peut-être pas le fait d'un hasard aussi étrange qu'heureux. La marée océanique, bien que régie *mondialement* par la Lune et le Soleil, revêt pourtant, d'un port à l'autre, des allures très différentes. De même, le phénomène *mondial* de la variation séculaire magnétique ne pourrait-il pas se trouver fortement marqué par certaines conditions régionales ? Le sujet est d'importance. Ce sont des relations *numériques*, des lois, qui seules permettront de fonder valablement la théorie du Magnétisme terrestre.

A supposer donc qu'on puisse assouplir la formule de Stoyko pour lui conférer une validité mondiale, ce ne seront assurément pas les variations de $\mathcal{H}$ qu'il sera rationnel d'associer aux fluctuations de la rotation. Le champ, tel qu'on l'observe en une station S donnée, pourrait être engendré par un dipôle central, dont je désigne le moment **M** du nom de moment

associé à S. Logiquement, c'est la composante M_Z, négative, de **M** par rapport à l'axe terrestre qui devra figurer dans la formule cherchée.

Pour la qualité des observations, l'une des meilleures stations magnétiques au monde est celle de Copenhague (Rude Skov). La partie droite de la figure retrace l'évolution de M_Z depuis les débuts de cet Observatoire. Du premier coup d'œil on reconnaît l'allure typique de la courbe ΔT_m, savoir une descente régulière presque uniforme, interrompue seulement pendant une vingtaine d'années par une remontée passagère. Les intervalles de remontée ne coïncident cependant pas rigoureusement et n'ont pas même durée. Par ailleurs, *le magnétisme est nettement en retard sur la rotation.*

La grande majorité des Observatoires des cinq continents donne lieu à des remarques similaires. Les deux plus anciens notamment, Londres et Bombay, autorisent des comparaisons portant sur plus d'un siècle. Les contrôles sont assurément plus ou moins significatifs selon que la station est plus ou moins ancienne, selon qu'elle fut plus ou moins perturbée, selon la qualité des mesures. A Simla, à San Fernando... il n'y a plus de remontée, mais seulement un palier passager, quasi horizontal. Ailleurs, on a affaire à une montée générale, parfois très rapide, et non plus à une descente, mais cette montée se trouve coupée par deux coudes significatifs, dans l'intervalle desquels la pente est passagèrement *accrue* (île Maurice).

En définitive, toutes les comparaisons peuvent se résumer assez convenablement en une formule d'un type unique, en laquelle on ne doit voir qu'une première approximation, un fil d'Ariane évitant de s'égarer dans le Labyrinthe de la variation séculaire, un point de départ pour une théorie du Magnétisme terrestre

$$M_Z = \alpha + \beta a + \gamma (\Delta T_m)_{a-\delta}. \tag{4}$$

En une station donnée, α, β, γ, δ sont des constantes sensiblement différentes d'un Observatoire à l'autre. α est négatif, γ et δ sont positifs. ΔT_m se rapporte à l'année de millésime $a - \delta$. A Paris, le retard δ est de 6 ans.

De toutes les stations utilisables du Globe, une seule, Washington, est indiscutablement très aberrante. Ne faut-il pas une exception pour confirmer la règle ?

(1) Consulter par exemple : W. A. Heiskanen et F. A. Vening Meinesz, *The Earth and its gravity field*, Mc Graw Hill, New-York, 1958, p. 25.

(2) Les isopores d'un élément magnétique, pour 1910,0 par exemple, sont les courbes d'égale variation de cet élément entre 1909,5 et 1910,5.

(3) N. Stoyko, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 80; 234, 1952, p. 1798; 234, 1952, p. 2550; 235, 1952, p. 122.

(4) L. Cagniard, *Actes Congrès Luxembourg Ass. Franç. avancement des Sciences*, 1953, p. 161.

PHYSIOLOGIE. — *L'influence du 2-amino-2-hydroxyméthyl-1, 3-propanediol sur le diabète pancréatique du Chien.* Note de MM. **Gabriel G. Nahas** et **Serge J. Dos**, présentée par Albert Policard.

L'administration intraveineuse du 2-amino-2-hydroxyméthyl-1, 3-propanediol à la dose de 1 gm/kg exerce une faible activité hypoglycémiante chez le Chien diabétique, tout en produisant une suppression presque complète de la glycosurie. Le mécanisme rénal de ce phénomène n'a pas encore été précisé.

L'action hypoglycémiante du 2-amino-2-hydroxyméthyl-1, 3-propanediol ou tri (hydroxyméthyl) aminométhane ou THAM, bien que de mécanisme discuté, est maintenant bien établie ([2]), ([4]), ([5]). Jointe à l'activité tampon de ce composé ([3]), elle le rend particulièrement intéressant à étudier pour la correction de l'acidocétose hyperglycémique du diabète pancréatique.

Dans ce but, 7 chiens furent pancréatectomisées et leur diabète contrôlé par l'administration quotidienne de 12 à 15 U. I. d'insuline pour des périodes de 2 à 5 semaines. Trois jours avant l'expérience l'insuline était supprimée. Les chiens étaient alors divisés en deux groupes. Le premier groupe (5 chiens) recevait par voie intraveineuse une solution de THAM à une concentration molaire de 0,3 et au rythme de 1 ml/kg/mn pendant des durées de 40 à 90 mn; l'un d'eux 11 jours plus tard, fut perfusé pendant 3 h. Le deuxième groupe (2 chiens) était traité identiquement pendant 1 h, mais la solution de THAM était préalablement tamponnée à un pH de 7,40 par l'addition de 210 méquiv par litre d'acide chlorhydrique. Dans tous les cas, le glucose et le pH sanguin et urinaire, la pCO_2 du sang veineux et la concentration des ions Na^+, K^+ et HCO_3^- dans le plasma étaient régulièrement mesurés. Dans la première série d'expériences, durant l'administration de THAM non tamponné, le pH et la concentration en ions HCO_3^- s'élevaient respectivement de 7,04-7,42 et de 7,84-17,65 méquiv/l à 7,44-7,80 et 22,45-39,19 méquiv/l pour s'abaisser ensuite lentement, alors que seules de faibles variations de la $pvCO_2$ étaient observées. Le taux du glucose sanguin était diminué de 6 à 30 % à la fin de l'injection et continuait à décroître pendant plusieurs heures, la chute maximale enregistrée étant de 52 %. Dans l'urine, après 20 à 40 mn, il ne restait que des traces de sucre, le taux passait de 12,77 à 0,12 g/100 ml chez le Chien perfusé pendant 3 h. Il augmentait ensuite très lentement, mais n'était encore qu'au tiers ou à la moitié de sa valeur initiale 3 à 4 h après l'arrêt de l'injection. La concentration en ions K^+ tendait à augmenter durant l'administration de THAM (de 3,4-4,6 méquiv/l à 4,3-4,5 méquiv/l) pour diminuer ensuite (de 4,3-4,5 méquiv/l à 3,2-3,5 méquiv/l) alors que la concentration en ions Na^+, si elle diminuait durant la perfusion (de 137,6-145,5 méquiv/l à 124,6-129,3 méquiv/l), tendait à remonter ensuite (de 124,6-129,3 méquiv/l

à 133,4-134,7 méquiv/l, 3 à 4 h plus tard). Dans la seconde série d'expériences, durant l'injection de THAM tamponné, les variations du pH, de la $pvCO_2$ et de la concentration en ions HCO_3^- étaient de très faible amplitude. Les modifications de la glycémie et de la glycosurie étaient analogues mais plus lentes à apparaître et de moindre importance : le taux de glucose sanguin était diminué de 14 à 17 % à la fin de l'injection et remontait immédiatement après.

Dans les deux séries, l'action diurétique du THAM était manifeste au bout de quelques minutes, la diurèse augmentant de 3 à 4 fois après 20 mn et ne retournait à la normale qu'environ 1 h après l'arrêt de l'injection. Le pH de l'urine changeait peu avec le THAM tamponné alors qu'il devenait alcalin avec le THAM non tamponné. L'ensemble de ces résultats montre que la diminution du taux du glucose sanguin chez le Chien diabétique est moindre que celle observée chez l'animal intact par Tarail et Bennet [5] avec, il est vrai, des doses plus importantes de THAM. Elle est, de même que chez l'animal intact, grossièrement proportionnelle à la concentration sanguine de THAM [4] et ne semble donc pas liée à un mécanisme pancréatique ainsi que l'ont vu Seltzer et Smith [7].

Effets du 2-amino-2-hydroxyméthyl-1, 3-propanediol sur le diabète pancréatique du Chien.

Valeurs de la glycémie, de la glycosurie et de la diurèse, avant, pendant et après l'administration intraveineuse de THAM pour des périodes de 40 à 80 mn.

	Glycémie ([a]) (mg/100 ml).				Glycosurie (mg/100 ml).				Diurèse totale (ml).			
Chien n°....	219.	519 ([b]).	428.	428 ([c]).	219.	519.	428.	428 *b*.	219.	519.	428.	428 *b*.
Contrôle...	413.	318.	554.	410.	14,800.	6,690.	9,730.	2,770.	0.	0.	0.	0.
20 m....	376	–	–	–	1,020	–	–	–	150	–	–	–
30 »....	–	230	392	349	–	961	2,020	1,420	–	138	50	35
40 »....	387	–	–	–	540	–	–	–	415	–	–	–
60 »....	–	223	223	418	–	901	1,052	1,579	–	318	193	106
90 »....	–	220	–	397	–	18	–	976	–	488	–	222
120 »....	–	–	–	349	–	–	–	387	–	–	–	273
180 »....	–	–	–	325	–	–	–	121	–	–	–	508
1 h....	350	–	460	([d])	560	–	2,538	([d])	725	–	371	([d])
2 »....	402	–	482	»	3,150	–	3,408	»	815	–	435	»
3 »....	398	–	530	»	4,720	–	5,060	»	860	–	478	»
4 »....	–	–	528	»	5,690	–	5,780	»	905	–	532	»

([a]) Plasma.
([b]) Sang artériel.
([c]) Quantité excrétée en 1 h.
([d]) Animal sacrifié à la fin de la perfusion de THAM pour examen anatomo-pathologique.

Que la chute de la glycémie soit plus importante quand THAM est administré sous sa forme alcaline confirme les résultats de Tarail et Bennet [6] suggère que l'action hypoglycémiante du THAM est fonction de sa fraction non ionisée, qui diffuse rapidement dans les espaces intra- et extra- cellulaires, et semble résulter d'un déplacement du glucose hors des espaces vasculaires.

Quoi qu'il en soit, l'action hypoglycémiante du THAM chez le Chien diabétique n'est pas suffisamment importante pour rendre compte de la quasi-disparition du sucre de l'urine. Et comme par ailleurs l'augmentation de la diurèse est loin d'être suffisante pour expliquer la diminution du glucose urinaire par un simple phénomène de dilution, il semble que l'action originale du THAM dans le diabète pancréatique, à côté de son effet sur l'équilibre ionique, consiste dans son pouvoir de modifier le seuil rénal du glucose par une action s'exerçant, soit sur la filtration glomérulaire, soit sur la réabsorption tubulaire. Cette triple activité, tampon, hypoglycémiante et rénale, souligne l'intérêt de cette substance dans le traitement de l'acidose diabétique ainsi qu'il a été d'ailleurs démontré en clinique humaine ([1]).

([1]) J. P. MERRILL, Communication personnelle.

([2]) G. G. NAHAS, S. J. DOS et J. C. LIGOU, *Clin. Res. Proc.*, 8, 1960, p. 27.

([3]) G. G. NAHAS et J. C. LIGOU, *Presse méd.*, 67, 1959, p. 1735-1738.

([4]) G. G. NAHAS et J. C. LIGOU, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2246.

([5]) R. TARAIL et T. E. BENNETT, *Proc. Soc. exp. Biol.* (N. Y.), 102, 1959, p. 208-209.

([6]) R. TARAIL et T. E. BENNET, *On the nature of the hypoglycemic effect of tris (hydroxymerhyl) aminomethane (Tris Buffer)* [*Meeting of the American Society for Clinical Investigation* (Abstracts) 52e, Atlantic City, 1960[.

([7]) H. S. SELTZER, W. L. SMITH, *Effects of glucose, sulfonylureas and other hypoglycemic agents on insulin activity in pancreatic venous blood.* [*Meeting of the American Society for Clinical Investigation* (Abstract) 52e, Atlantic City, 1960].

(*Université Columbia, New-York.*)

NUTRITION. — *Étude des variations saisonnières de l'urémie de vaches de races tropicales, soumises à une alimentation naturelle.* Note (*) de MM. **Claude Labouche**, **Paul Amalou** et Mme **Madeleine Sauvestre**, transmise par M. Clément Bressou.

L'urémie subit, au cours de l'année, des variations très importantes qu'il faut attribuer aux modifications saisonnières du rapport azote/cellulose des fourrages consommés.

L'urémie de 26 vaches, 20 de race N'Dama et 6 de race zébu-maure, a été mesurée tous les mois, de mai 1959 à avril 1960, par action de l'uréase et microdiffusion de NH_3 formé. Les animaux se nourrissent sur un pâturage spontané, mais ils ont consommé, en février et mars 1960, des repousses d'engrais vert.

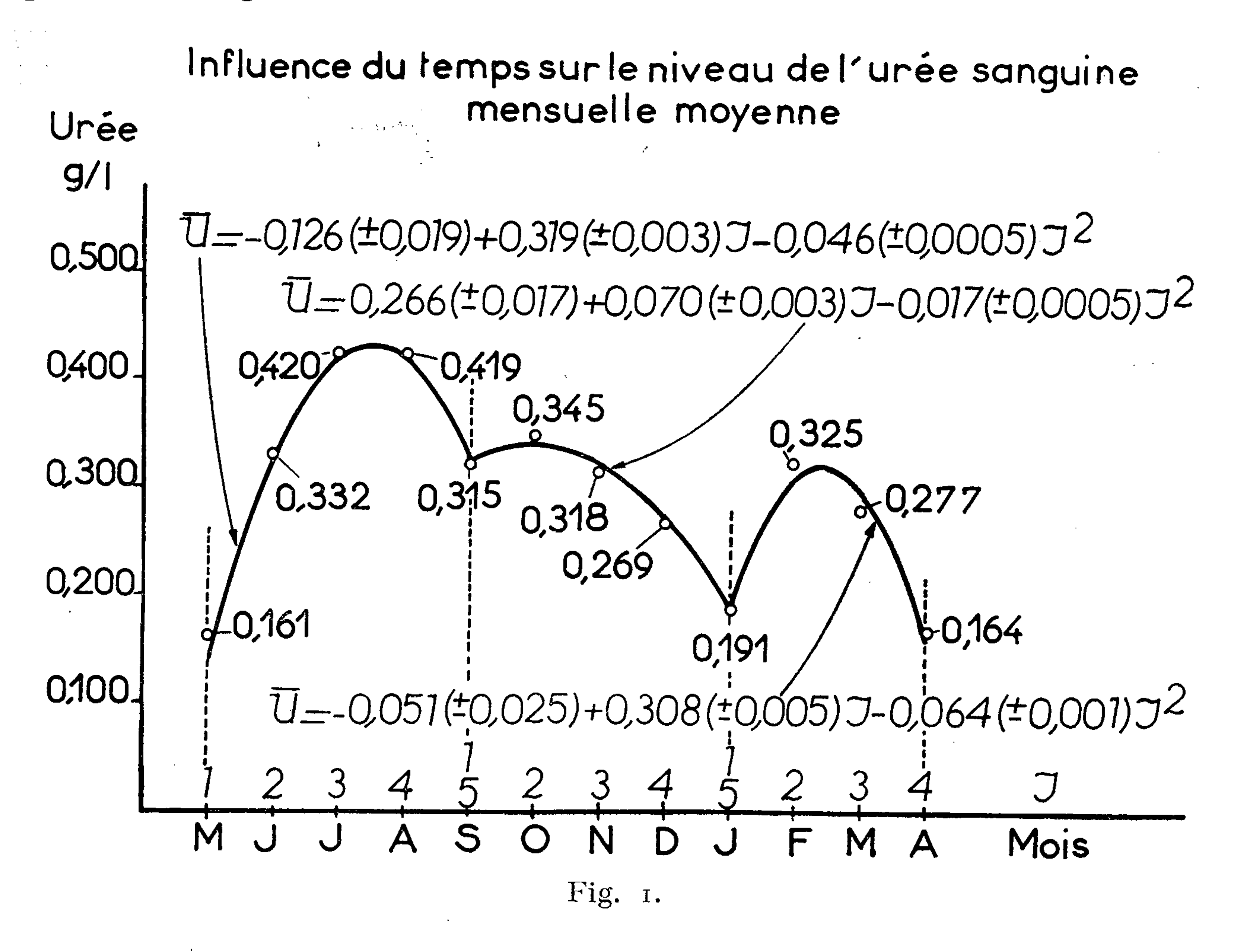


Fig. 1.

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau suivant :

Mois	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Ū	161	332	420	419	315	345	318	269	191	325	277	164
σ(±)	33	47	49	52	55	45	37	42	40	62	71	48
$\sigma_{\bar{U}}$(±)	6,5	9,2	9,6	10,2	10,7	8,8	7,3	8,3	7,8	12,1	13,9	9,4

Ū, urémie moyenne mensuelle en mg/l; σ, écart-type; $\sigma_{\bar{U}}$, écart-type de moyenne.

Pour chaque classe de temps, on note une dispersion importante des observations ($\pm$ 25 à 50 % de la moyenne). Les limites supérieures et inférieures de distribution des données ($\overline{U} \pm 2\sigma$) sont, le plus souvent, dans le rapport de 1 à 2.

Au cours de l'année, l'urémie moyenne mensuelle subit d'importantes variations (de l'ordre du simple au triple) et trois périodes évolutives, sensiblement égales en durée, peuvent être distinguées : mai-septembre, septembre-janvier, janvier-avril. Elles sont limitées par deux minimums

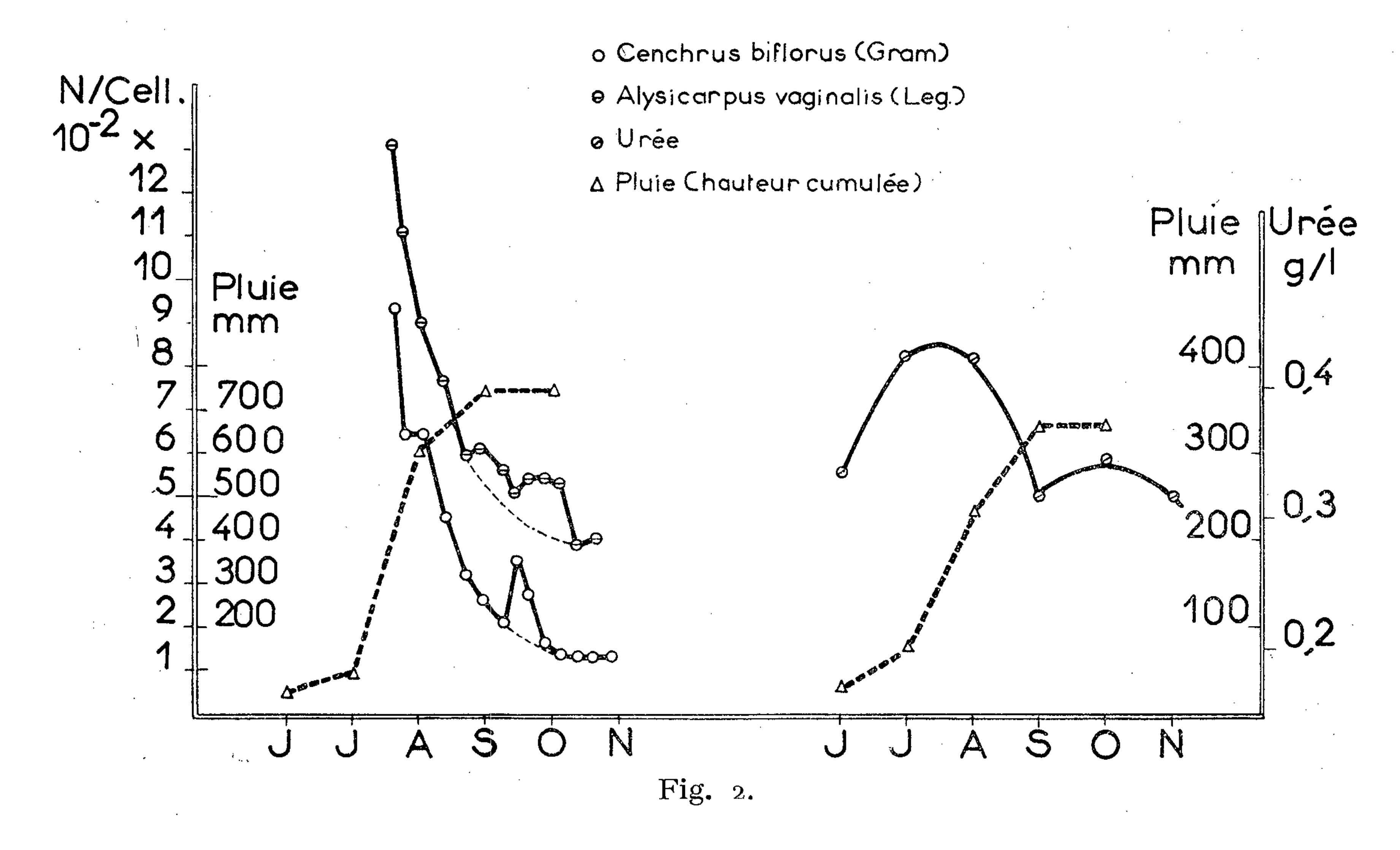


Fig. 2.

et centrées, chacune, sur un maximum (respectivement juillet-août, octobre et février). L'analyse de la variance des données rend compte d'une intervention fortement significative du temps et met en évidence entre celui-ci et l'urémie moyenne du troupeau trois relations du second degré, ainsi qu'il ressort des éléments succincts du tableau suivant, dans lequel s_e^2 représente la variance de l'erreur, s_c^2 la variance liée au temps, s_D^2 la variance de déviation par rapport à la régression. Les seuils de signification sont ceux des tables de Snedecor, au point 5 %, et les urémies moyennes mensuelles des formules de régression sont exprimées en grammes d'urée par litre.

(*) Séance du 29 août 1960.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Les acides organiques fixes des milieux biologiques : identification directe par électrochromatographie sans déminéralisation.* Note (*) de MM. **Roger Osteux, Jean Guillaume, Tran Van Ky** et **Jean Laturaze**, transmise par M. René Fabre.

Description d'une méthode simple d'identification des acides organiques fixes des milieux biologiques complexes grâce à l'emploi couplé de l'électrophorèse et de la chromatographie sur papier. Un exemple d'application en chimie bactérienne est donné.

L'identification des acides organiques fixes au moyen de la chromatographie bidimensionnelle sur papier présente l'inconvénient majeur de devoir être précédée de l'élimination des ions minéraux ([1]). D'autre part, les techniques d'électrophorèse décrites précédemment nécessitent un appareillage autorisant l'utilisation de hauts voltages ([2]). Nous avons voulu mettre au point une technique simple de séparation des substances acides non volatiles du métabolisme intermédiaire, évitant ces deux écueils. En couplant la séparation électrophorétique à voltage moyen et la chromatographie sur papier, on réalise une séparation satisfaisante des substances acides, comme Biserte et coll. ([3]) l'avaient réalisée dans le domaine des acides aminés, sans déminéralisation préalable, à la seule condition que la concentration relative de ces substances dans le milieu soit suffisante.

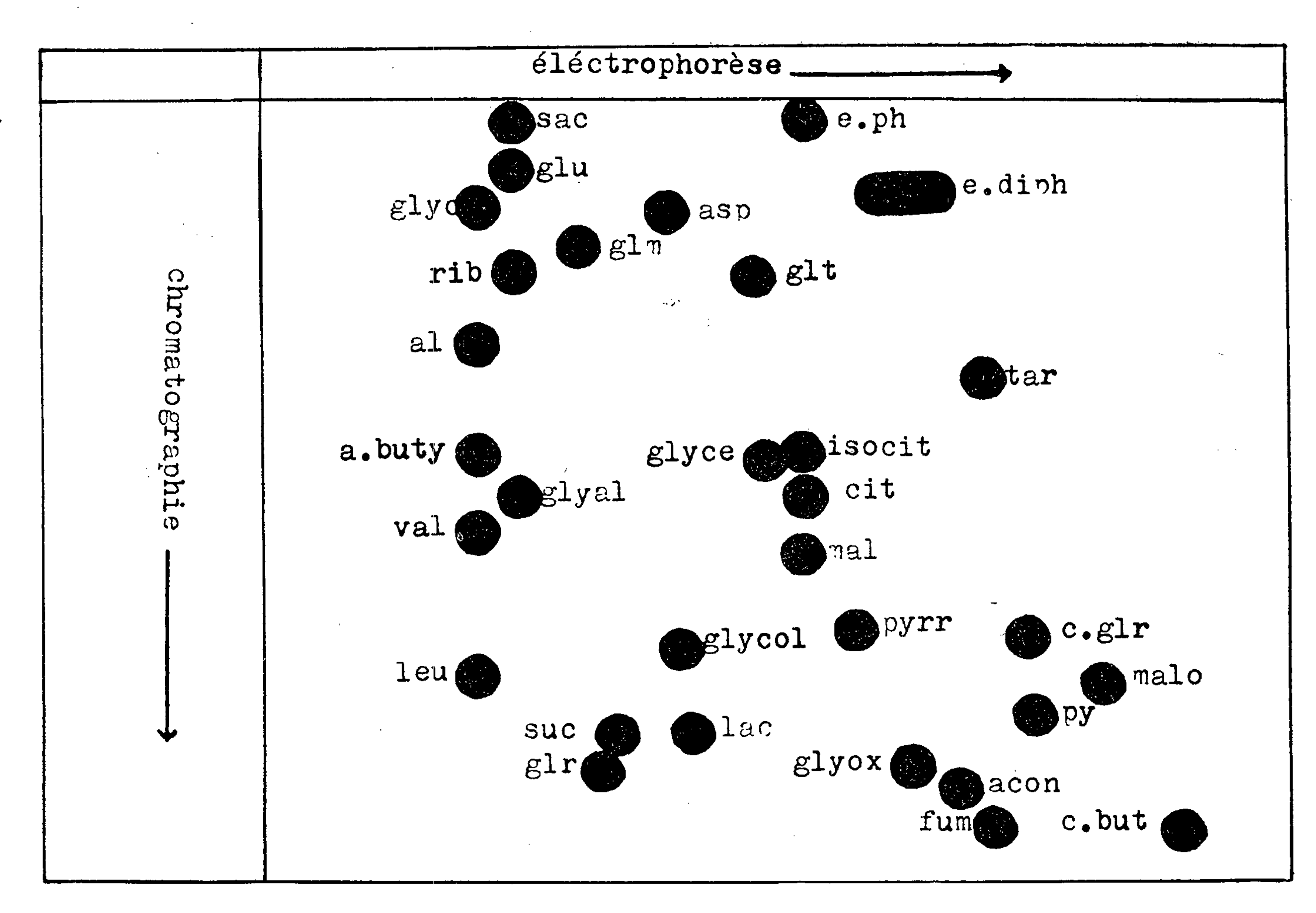
Le papier utilisé est le papier Whatman n° 1 découpé en feuilles de 28 × 40 cm. La solution à analyser est déposée à 2 cm du bord dans le sens de la longueur et à 6 cm dans le sens de la largeur. L'électrophorèse est effectuée dans un appareil en toit, type Durrum ([4]), dans le sens de la plus grande dimension du papier, la tache de départ se trouvant du côté de la cathode; l'opération est menée en tampon volatil : pyridine-acide acétique-eau (30; environ 400; 5 000) (v/v) ajusté à pH 3,5. L'électrophorèse est poursuivie durant 15 h sous 170 V. Les acides organiques, l'acide phosphorique et ses esters, les oses et les acides α-monoaminés occupent sur le papier les positions indiquées sur le schéma. Les acides minéraux forts ainsi que l'acide oxalique sont éliminés de la feuille et migrent dans le bac anodique; les cations minéraux, les amines, les acides diaminés et ω-aminés disparaissent dans le bac cathodique.

Les feuilles sont séchées à l'air libre, puis soumises à une chromatographie ascendante dans le sens perpendiculaire à celui de l'électrophorèse avec le solvant suivant : acide formique-butanol-alcool benzylique-eau (60; 140; 22; 240) (v/v); on décante la phase organique après 8 h de repos.

Nous avons fait figurer sur le schéma l'emplacement des principaux dérivés du métabolisme intermédiaire; la disposition des taches situées dans la

moitié cathodique de la feuille est donnée à titre indicatif, car elle peut varier suivant l'étanchéité de la cuve à électrophorèse.

Cette technique s'est révélée particulièrement intéressante dans l'étude du métabolisme des corps marqués au radiocarbone, dont voici un exemple : 0,2 ml d'une suspension de *Proteus mirabilis* correspondant à 5.10^{11} germes par millilitre sont ajoutés à 0,2 ml d'une solution contenant 2 μC de glucose-U^{14}-C en tampon phosphate 0,15 M, pH 7,2. Après 30 s de contact



acon, acide cis-aconitique; al, alanine; a. buty, acide α-aminobutyrique; asp, acide aspartique; c. but, acide α-cétobutyrique; c. glr, acide α-cétoglutarique; cit, acide citrique; e. ph, esters monophosphoriques; e. diph, esters diphosphoriques; fum, acide fumarique; glm, acide glutamique; glr, acide glutarique; glt, glutathion; glu, glucose; glyal, glycéraldéhyde; glyc, glycocolle; glyce, acide glycérique; glycol, acide glycolique; glyox, acide glyoxylique; isocit, acide isocitrique; lac, acide lactique; leu, leucine; mal, acide malique; malo, acide malonique; py, acide pyruvique; pyrr, acide pyrrolidone carboxylique; rib, ribose; sac, saccharose; suc, acide succinique; tar, acide tartrique; val, valine.

avec agitation constante, la réaction est arrêtée par addition de 1,6 ml d'alcool absolu. La suspension est portée une heure à 45° et centrifugée. Le surnageant est évaporé à sec sous courant d'azote et déposé en une seule tache de départ. Après électrophorèse et chromatographie, puis révélation par autoradiographie, les substances suivantes ont pu être identifiées : alanine, acides aspartique et glutamique, glutathion, glucose résiduel, dérivés mono- et diphosphoriques, acides succinique, lactique, citrique, malique, fumarique, α-cétoglutarique; il existe, en outre, cinq taches que nous n'avons pu encore caractériser.

L'intérêt majeur de la technique proposée est de ne pas nécessiter de traitement préalable de déminéralisation, indispensable dans les méthodes d'identification des acides fixes précédemment décrites. Les avantages qui en résultent sont la rapidité et l'élimination de la plupart des risques d'altération ou de perte pendant les différentes manipulations.

(*) Séance du 1er août 1960.

(1) R. Osteux et J. Laturaze, *Clin. Chim. Acta*, 1, 1954, p. 378.
(2) D. Gross, *Nature*, 184, 1959, p. 1298.
(3) G. Biserte, T. Plaquet, P. Boulanger et P. Paysant, *J. Chromatography*, 3, 1960, p. 25.
(4) E. L. Durrum, *J. colloid. Sc.*, 6, 1951, p. 274.

(*Laboratoire de Chimie biologique,*
Laboratoire de Zoologie et Parasitologie,
Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lille
et Institut Pasteur de Lille.)

La séance est levée à 15 h 30 m.

L. B.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 12 SEPTEMBRE 1960

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

DÉCÈS DE MEMBRES ET DE CORRESPONDANTS.

M. le **Président** annonce la mort, survenue à Cambridge (Angleterre), le 2 septembre 1960, de M. **Frederick J. M. Stratton**, Correspondant pour la Section d'Astronomie. Il invite l'Académie à se recueillir en silence pendant quelques instants, en signe de deuil.

La notice nécrologique d'usage sera déposée en l'une des prochaines séances par M. **André Danjon**.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. le **Ministre de l'Éducation Nationale** invite l'Académie à lui présenter une liste de deux candidats à la Chaire d'Ethnologie des Hommes actuels et des Hommes fossiles vacante au Muséum national d'Histoire naturelle.

(Renvoi aux Sections de Zoologie et de Médecine et Chirurgie.)

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Inter-American Nuclear Energy Commission and Argentine National Atomic Energy Commission. *2nd Inter-American Symposium on the peaceful application of nuclear energy, Buenos Aires,* 1959. *Radioisotopes and radiation in the life sciences.*

2° Nations Unies. Conseil économique et social. Trentième session : *Étude sur les tendances principales de la recherche dans le domaine des sciences exactes et naturelles, la diffusion des connaissances scientifiques et leur application à des fins pacifiques.*

3° *Theory of Vorticity-Quantum in turbulent flow*, Part 1 and 2, by Takashi Murayama, in the Memoirs of the Defense Academy, Vol. 1, n° 5.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Les caractéristiques des équations aux dérivées partielles linéaires.* Note de M. **Pavel Drăgilă**, transmise par M. Henri Villat.

1. Il est bien connu que les caractéristiques des équations aux dérivées partielles jouent un rôle important, principalement dans la démonstration de l'existence et de l'unicité des solutions satisfaisant certaines conditions, de même que dans les recherches des solutions élémentaires ou des distributions. La détermination effective des caractéristiques d'une équation aux dérivées partielles et même la recherche du nombre de ces caractéristiques semblent être des problèmes assez difficiles. Or, même dans le cas le plus simple des équations linéaires du second ordre, à deux variables indépendantes,

$$(1)\qquad A\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+2B\frac{\partial^2 u}{\partial x\,\partial y}+C\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+D\frac{\partial u}{\partial x}+E\frac{\partial u}{\partial y}+Fu=0,$$

qui furent étudiées depuis longtemps, ces questions ne sont pas encore éclaircies. Pour ces équations on trouve indiqués, dans tous les Mémoires et les Manuels, seulement les deux systèmes de caractéristiques définies par l'équation

$$A\,dy^2-2B\,dx\,dy+C\,dx^2=0.$$

Il faudrait conclure que ces caractéristiques sont de nature intrinsèque, c'est-à-dire qu'elles se conservent par les changements des variables indépendantes; mais nous allons voir qu'il n'en est pas toujours ainsi, et que, dans le cas des équations (1) de type hyperbolique, il y a au moins trois systèmes de caractéristiques réelles et distinctes.

2. Dans les calculs qui suivent nous désignons les deux variables indépendantes x, y, et nous adoptons les notations usuelles u_x, u_y, u_{xx}, u_{yy}, pour représenter les dérivées $\partial u/\partial x$, $\partial u/\partial y$, $\partial^2 u/\partial x^2$, $\partial^2 u/\partial x\,\partial y$, ...

Pour simplifier les démonstrations nous partons d'un système d'équations du premier ordre

$$(2)\qquad v_x=au_x+bu_y,\qquad v_y=cu_y.$$

Il est aisé de vérifier, par le calcul direct, que tous les systèmes hyperboliques et paraboliques peuvent être réduits, par un changement convenable des variables à la forme (2).

Posant ensuite la condition d'intégrabilité

$$(v_x)_y = (v_y)_x,$$

on obtient l'équation du deuxième ordre

$$(a - c)\, u_{xy} + b u_{yy} + a_y u_x + (b_y - c_x)\, u_y = 0,$$

pour laquelle un système de caractéristiques est donné par

$$dx = 0.$$

Cherchons maintenant s'il est possible de faire un changement des variables indépendantes

$$x = \varphi(s,\, t); \qquad y = \psi(s,\, t),$$

de telle manière que nous obtenions

(3) $$v_s = \lambda\, u_s, \qquad v_t = \mu\, u_t.$$

Compte tenu des relations (2) on aura

$$\frac{(a u_x + b u_y) x_s + c u_y y_s}{u_x x_s + u_y y_s} = \lambda, \qquad \frac{(a u_x + b u_y) x_t + c u_y y_t}{u_x x_t + u_y y_t} = \mu.$$

Il est facile de voir qu'on peut prendre

$$x_s = 0,$$

et alors il en résulte

$$v_s = c u_s.$$

Il reste encore à déterminer une nouvelle relation

(4) $$y_t = m x_t,$$

afin que soit satisfaite la deuxième équation (3). Tenant compte ensuite de la relation (4) elle-même on obtient

$$\frac{a u_x + b u_y + c m u_y}{u_x + m u_y} = \mu,$$

d'où il ressort

$$\frac{a}{1} = \frac{b + cm}{m},$$

et finalement

$$m = \frac{b}{a - c}.$$

Cela est possible seulement dans le cas

$$a \neq c,$$

qui correspond aux systèmes hyperboliques.

Nous avons obtenu ainsi le nouveau système

$$v_s = c u_s, \qquad v_t = a u_t,$$

et nous avons établi l'existence de trois systèmes de caractéristiques réelles et distinctes y, s, t, qui sont définis par les équations

$$dx = 0, \qquad dt = 0, \qquad ds = 0.$$

Exemple. — Considérons le système particulier

$$v_x = 2u_x + u_y, \qquad v_y = u_y,$$

dont les caractéristiques (d'une famille) sont

$$dx = 0.$$

Faisant le changement de variables

$$x = s, \qquad y = s + t,$$

nous trouvons le nouveau système

$$v_s = 2u_s, \qquad v_t = u_t,$$

dont les caractéristiques sont

$$dt = 0, \qquad ds = 0.$$

3. Dans le cas spécial

$$a = c,$$

qui correspond aux systèmes paraboliques, il y a un seul système de caractéristiques, qui restent inchangées par les changements de variables.

AÉROTHERMIQUE. — *Étude expérimentale d'une couche limite le long d'une plaque rugueuse.* Note de MM. **Edmond A. Brun** et **Hubert Plum**, transmise par Joseph Pérès.

1. Les plaques planes étudiées constituent les couvercles d'une boîte plate, rectangulaire, en bronze, de 110 cm de longueur, de 44 cm de largeur et de 2,3 cm de hauteur, précédée d'un bord d'attaque relativement court (12 cm de longueur). Quand la boîte est convenablement calée dans la veine d'expérience, l'écoulement potentiel ne comporte aucun gradient longitudinal notable de pression. La boîte, venue de fonderie, présente des nervures qui la compartimentent quand le couvercle est fixé. Un courant d'eau chaude circule dans les divers compartiments et dans le bord d'attaque; le réglage du débit d'eau dans chacun des compartiments permet de maintenir la température de la plaque aussi uniforme que possible; cette température est mesurée en 17 points à l'aide de soudures de thermocouples serties dans la paroi.

Les plaques rugueuses sont obtenues par photogravure; de ce fait, on peut avoir une rugosité « régulière », ayant telles caractéristiques qu'on désire. Les expériences ici décrites se rapportent à des rugosités de hauteur 0,55 mm et de pas 4,16 mm. Quand la vitesse dans la veine est de 40 m/s, la couche limite est déjà turbulente à une distance du bord d'attaque de l'ordre de 20 cm. Il est facile de voir que, dans ces conditions, l'écoulement est « semi-rugueux »; autrement dit, le coefficient de frottement dépend, sur toute la longueur de la plaque, à la fois du nombre de Reynolds local et de la rugosité relative.

Nous ne rapporterons ici que les résultats relatifs à l'exploration dynamique : ces résultats sont les mêmes que la plaque soit ou non chauffée, la température de la plaque n'ayant pas dépassé 60° C. Nous donnerons ultérieurement les résultats concernant l'exploration thermique qui confirment ceux déjà obtenus dans la même soufflerie [1], à savoir que le rapport du coefficient de transport d'enthalpie C_H au coefficient de transport de quantité de mouvement $C_f/2$, très voisin de l'unité dans le cas d'une plaque lisse, décroît quand la rugosité augmente.

2. On sait que, contrairement à ce qui se passe en régime laminaire, il n'existe pas, en régime turbulent, une loi universelle de la distribution des vitesses dans la couche limite de la forme

$$\frac{u}{u_\infty} = f\left(\frac{y}{\delta}\right). \tag{1}$$

Puisque, en régime turbulent, la loi de distribution des vitesses n'est plus valable au voisinage immédiat de la plaque, il convient de mesurer la vitesse par rapport à l'écoulement potentiel et de considérer la valeur

négative $u - u_\infty$. Considérons alors, au point P, où la tension pariétale est τ_p, la grandeur u_f, dite vitesse de frottement, définie par l'expression

$$(2)\qquad u_f = \sqrt{\frac{\tau_p}{\rho}} = u_\infty \sqrt{\frac{C_f}{2}}.$$

On sait depuis longtemps (Darcy, Bazin) que, dans une conduite lisse ou rugueuse, existe un profil de vitesses universel défini par

$$(3)\qquad \frac{u - u_\infty}{u_f} = -f\left(\frac{y}{r}\right),$$

où r est le rayon de la conduite. Cette loi universelle a été étendue au cas de la plaque plane; elle s'écrit

$$(4)\qquad \frac{u}{u_\infty} - 1 = -\sqrt{\frac{C_f}{2}} f\left(\frac{y}{\delta}\right).$$

Le bien-fondé d'une telle extension a été vérifié de nombreuses fois dans le cas de la plaque lisse, mais plus rarement dans le cas des plaques rugueuses et surtout semi-rugueuses; il a paru intéressant, à propos des études sur les plaques rugueuses chauffées, de rapporter les résultats obtenus au cours des très nombreuses explorations dynamiques effectuées.

3. En premier lieu, pour un grand nombre d'abscisses x, les courbes $u/u_\infty = f(y)$ ont été tracées, en prenant, pour origine arbitraire des y, le plan défini par une égale distance des sommets des aspérités et des points les plus bas des creux. Comme il a été déjà rappelé, ces courbes ne sont plus valables au voisinage de la plaque, où d'ailleurs la visée ne permet pas de repérer avec précision le plan de référence.

Pour réduire l'erreur d'origine, nous avons porté, sur un graphique, les valeurs $y_{0,9}$, pour lesquelles $u/u_\infty = 0{,}9$, en fonction de l'abscisse x et tracé la courbe continue qui contrôle le mieux les points expérimentaux. A partir de la courbe isovitesse $u_{0,9} = 0{,}9\, u_\infty$, il a été possible de retrouver approximativement l'origine des diverses courbes $u/u_\infty = f(y)$. Par planimétrie de ces courbes, on obtient l'épaisseur de quantité de mouvement δ_2 pour les diverses abscisses x, et le tracé de δ_2 en fonction de x permet d'obtenir

$$(5)\qquad \frac{C_f}{2} = \frac{d\delta_2}{dx}, \qquad \text{avec} \quad \delta_2 = \int_0^\infty \left(1 - \frac{u}{u_\infty}\right)\frac{u}{u_\infty}\, dy$$

et, par suite, d'après (2), la vitesse de frottement u_f.

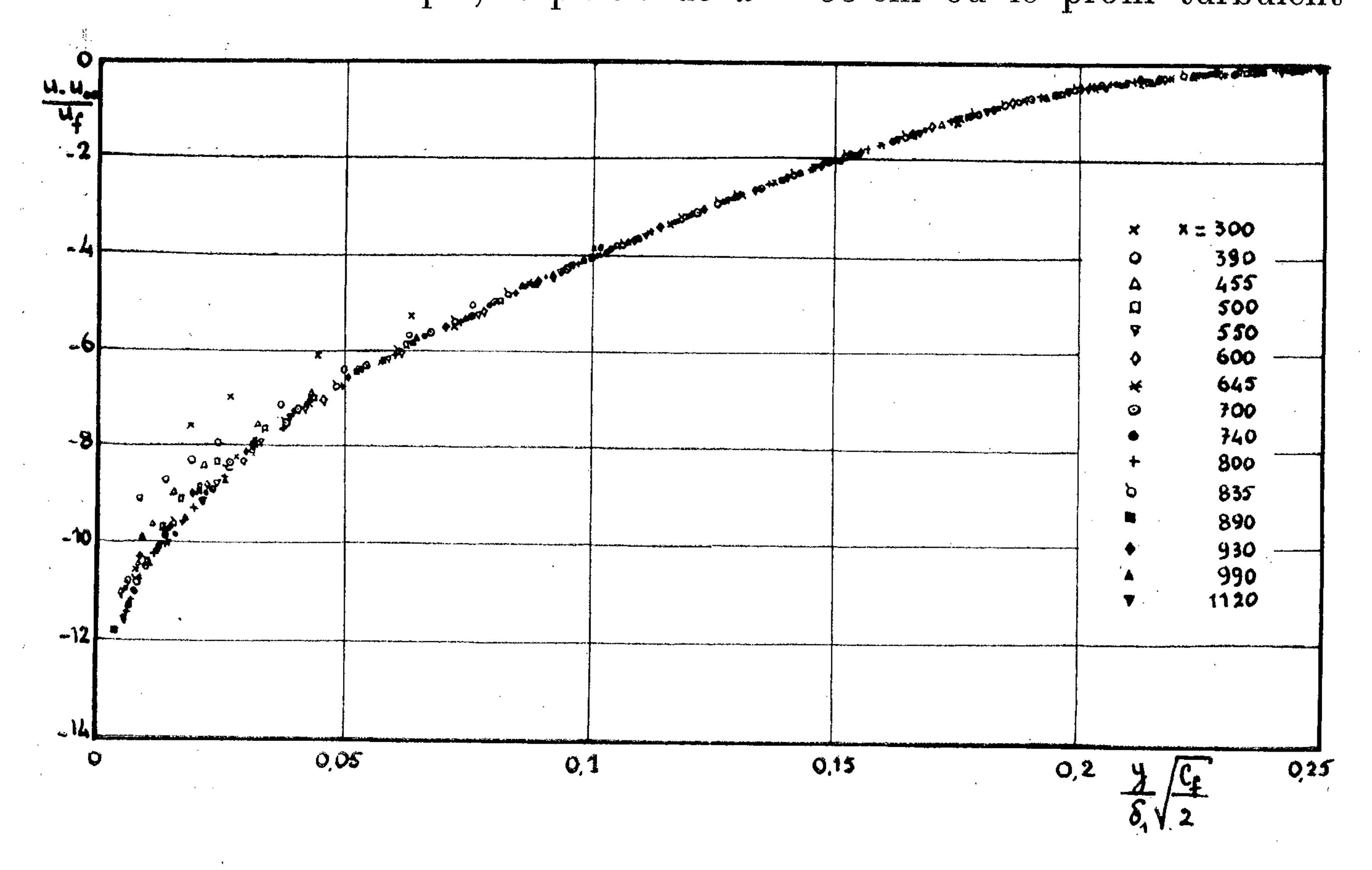
Il est alors possible de tracer, pour chaque point de la plaque, la courbe définie par la relation (4) et de vérifier si cette courbe est bien la même pour tous les points.

4. En fait, la difficulté de déterminer avec précision la valeur de δ fait qu'on préfère utiliser, dans la représentation de la loi des vitesses une

autre épaisseur de référence ([2]) :

(6) $$\delta_f = -\int_0^\infty \frac{u - u_\infty}{u_f}\, dy.$$

Sur le graphique de la figure, où les abscisses sont y/δ_f et les ordonnées $(u - u_\infty)/u_f$, se trouvent portées les ordonnées correspondant à 15 abscisses différentes. On voit que, à partir de $x = 50$ cm où le profil turbulent



paraît définitivement établi, tous ces points se trouvent sur une même courbe. Il est naturel que l'imprécision soit plus grande quand on se rapproche davantage de la paroi.

La courbe unique obtenue est très voisine de celle obtenue par Clauser (*loc. cit.*). Les écarts ne deviennent notables qu'au voisinage de la paroi. La valeur donnée par la relation (6) du rapport

(7) $$\frac{\delta_f}{\delta} = -\int_0^\infty \frac{u - u_\infty}{u_f}\, d\left(\frac{y}{\delta}\right)$$

est ici de 3,9, alors que Clauser donne 3,6.

On peut dire que le profil des vitesses est sensiblement le même pour une plaque lisse et pour une plaque semi-rugueuse.

([1]) G. Brunello, *Publ. scient. et techn. Min. Air*, n° 332, 1957.

([2]) F. H. Clauser, *J. A. S.*, février 1954, p. 91.

RELATIVITÉ GÉNÉRALE. — *Champs électromagnétiques constants en Relativité générale*. Note (*) de MM. **Robert Debever** et **Michel Cahen**, transmise par M. Frans van den Dungen.

Nous déterminons les espaces-temps de la Relativité générale sur lesquels existe un champ électromagnétique constant.

Soit V_4 un espace-temps de la gravitation soumis aux conditions différentielles de Lichnerowicz [1]. En présence d'un champ électromagnétique il existe sur V_4 un champ A de 2-plans de composantes $a_{\lambda\mu}$; $\star$A désignera le champ de composantes $\star a_{\lambda\mu}$ ($\star a_{\lambda\mu}$ est le tenseur adjoint de $a_{\lambda\mu}$). Nous appellerons *constants* les champs électromagnétiques pour lesquels A est parallèle dans la connexion de Levi Civita.

1. *Champs non singuliers.* — Les 2-plans A et $\star$A n'ont pas de direction commune. Il résulte des équations de Rainich que les tenseurs $a_{\lambda\mu}$ et $\star a_{\lambda\mu}$ sont à dérivée covariante nulle. V_4 est alors réductible : l'espace temps est produit topologique de deux espaces à deux dimensions $V_2^{(1)}$ et $V_2^{(2)}$. La nullité de la courbure scalaire exigée par les équations de Maxwell-Einstein entraîne que les espaces $V_2^{(1)}$ et $V_2^{(2)}$ sont à courbure constante. L'espace temps V_4 est conforme minkowskien. On retrouve les solutions de Bertotti [2] et Robinson [3]. De plus, dans le vide, l'espace est de Minkowski.

2. *Champs singuliers.* — Les deux plans A et $\star$A ont en commun une direction isotrope. Si $\vec{e}_\alpha$ ($\alpha = 1, 2, 3, 4$) désigne un repère orthonormé $\vec{e}_1 + \vec{e}_4$ un vecteur isotrope, et si les champs $(\vec{e}_1 + \vec{e}_4) \wedge \vec{e}_2$, $(\vec{e}_1 + \vec{e}_4) \wedge \vec{e}_3$ sont parallèles, la forme de connexion est telle que

$$\omega_{23} = 0, \qquad \omega_{12} = \omega_{24}, \qquad \omega_{31} = \omega_{43},$$

On peut toujours choisir des coordonnées locales [4] telles que

$$ds^2 = A^2(x^2, x^4)(dx^2)^2 + B^2(x^3, x^4)(dx^3)^2 + 2\,dx^4(L(x^4)\,dx^1 + C(x^\alpha)\,dx^4).$$

Le tenseur de Weyl est du type III de Petrov. L'espace temps V_4 sera du *type radiatif* de Lichnerowicz si et seulement si

$$C = x^1 f(x^4) + g(x^2, x^3, x^4). \tag{2.1}$$

Dans ce cas, grâce à un changement de variables, il est possible de faire $L = 1$, $f = 0$. On a alors $\omega_{14} = 0$.

Les espaces radiatifs envisagés ici sont des *espaces de l'électromagnétisme au sens de Wheeler* [5] s'il existe un champ singulier $F_{\alpha\beta}$ solution des équa-

tions de Maxwell-Einstein. Or, tout $F_{\alpha\beta}$ solution des équations d'Einstein est de la forme

$$F_{\alpha\beta} = (Q_1 + P_1)^{\frac{1}{2}} (a_{\alpha\beta} \cos\beta + \star a_{\alpha\beta} \sin\beta),$$

β désignant le paramètre de la rotation duale et :

$$P_1 = -\frac{B^{-3}}{2} \partial_3 B\, \partial_3 g + \frac{B^{-2}}{2} \partial^2_{33} g + \frac{B^{-1}}{2} \partial^2_{44} B.$$

$$Q_1 = -\frac{A^{-3}}{2} \partial_2 B\, \partial_2 g + \frac{A^{-2}}{2} \partial^2_{22} g + \frac{A^{-1}}{2} \partial^2_{44} A.$$

La condition nécessaire et suffisante pour qu'il existe dans cette famille $F_{\alpha\beta}$ (β) un champ maxwellien est

(2.2) $$\partial_3 \left(\frac{AB^{-1} \partial_3 (P_1 + Q_1)}{P_1 + Q_1} \right) + \partial_2 \left(\frac{BA^{-1} \partial_2 (P_1 + Q_1)}{P_1 + Q_1} \right) = 0.$$

Il existe alors sur V_4 une infinité de champs de Maxwell-Einstein $F_{\alpha\beta}$ dépendant d'une fonction arbitraire de x^4. Remarquons que la condition (2.2) est satisfaite si $(P_1 + Q_1)$ est une fonction de x^4 seulement.

L'espace est un *espace du vide* si :

(2.3) $$\Delta_2 C + \frac{\partial^2_{44} A}{A} + \frac{\partial^2_{44} B}{B} = 0,$$

Δ_2 désignant l'opérateur $g^{\alpha\beta} \nabla^2_{\alpha\beta}$ et C ne dépendant plus de x^1. A tout choix de fonctions A, B et à un système de conditions aux limites correspond une fonction C et donc un espace temps V_4. Sur chacun de ces espaces est définie une famille de deux formes singulières harmoniques. A ce type d'espaces appartiennent les solutions connues de Rosen-Bondi-Robinson ([6]) (coefficients de la métrique fonctions de x^4 seulement), les solutions de Hély et Pérès ([7]) (A = B = 1).

Les *espaces radiatifs conformes minkowskiens* sont caractérisés par les deux conditions

(2.4) $$P_1 = Q_1, \qquad \partial^2_{23} C = 0.$$

Il résulte de la première que tout espace de ce type est un espace de Wheeler. On en déduit aussi que

$$C = C'(x^2, x^4) + C''(x^3, x^4),$$

$$\partial_3 \left(\frac{\partial_3 C''}{B} \right) = 2\, r(x^4)\, B - \partial^2_{44} B,$$

$$\partial_2 \left(\frac{\partial_2 c'}{A} \right) = 2\, r(x^4)\, A - \partial^2_{44} A,$$

$r(x^4)$ désignant une fonction arbitraire de x^4. En particulier, si l'on suppose que les coefficients du ds^2 ne dépendent que de x^4, on trouve la relation fonctionnelle entre A et B

$$\frac{A}{B} = C_1 e^{\int \frac{dx^4}{AB}} + C_2,$$

C_1 et C_2 étant deux constantes. Enfin si $A = B = 1$, on obtient l'expression des fonctions C' et C'' :

$$C' = r(x^4)(x^2)^2 + s(x^4)x^2 + t(x^4),$$
$$C'' = r(x^4)(x^3)^2 + u(x^4)x^3 + v(x^4).$$

(*) Séance du 22 août 1960.

(1) A. LICHNEROWICZ, *Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme*, Masson, Paris, 1955.
(2) R. BERTOTTI, *Phys. Rev.*, 116, 1959, p. 1331.
(3) I. ROBINSON, *Bull. Acad. Pol. Sc. math.*, 7, 1959, p. 351.
(4) A. G. WALKER, *Quarterly J. Math.*, 1, 1950, p. 69 et 147.
(5) J. A. WHEELER et CH. W. MISNER, *Ann. Phys.*, 2, 1957, p. 525.
(6) H. BONDI, *Nature*, 179, 1957, p. 1072.
(7) J. HÉLY, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1867; A. PÉRÈS, *Phys. Rev.*, 118, 1960, p. 1110.

THÉORIE DES PLASMAS. — *Fuites — en régime permanent — d'un plasma à deux températures, confiné par un champ magnétostatique.* Note (*) de M. **Jean-Michel Dolique**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans deux Notes précédentes (1), (2), on a calculé — pour un régime permanent — les fuites dues à la diffusion des particules, perpendiculairement aux lignes de force magnétiques, dans une colonne de plasma confinée par un champ magnétostatique. Les températures électronique et ionique étaient supposées égales : $T_e = T_i = T$. On se propose de généraliser les résultats obtenus au cas $T_e \neq T_i$, le plus souvent rencontré expérimentalement.

L'expression du flux Φ de fuite était obtenue, en (1) et (2), par intégration de l'équation de Fokker-Planck, pour des lois de distribution des vitesses, électronique et ionique, maxwelliennes excentrées; moyennes $\vec{v}_e$ et $\vec{v}_i$, écarts-types

$$\sigma_e = \left(\frac{kT}{m_e}\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad \sigma_i = \left(\frac{kT}{m_i}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Les coefficients de frottement dynamique moyens $\langle \vec{P}_e \rangle$, $\langle \vec{P}_i \rangle$ utilisés dans les équations de transport de la quantité de mouvement étaient ceux établis par K. M. Watson (3), pour des températures électronique et ionique égales.

Pour généraliser l'expression du flux Φ de (2), au cas $T_e \neq T_i$, on peut étendre à ce cas le calcul de $\langle \vec{P}_e \rangle$ et $\langle \vec{P}_i \rangle$ fait par Watson. Mais à titre de contrôle, nous avons utilisé la méthode générale de Rosenbluth-Mac Donald-Judd (4).

Celle-ci permet de calculer le vecteur frottement dynamique $\vec{P}_e$ et le tenseur diffusion $\vec{\vec{Q}}_e$ du deuxième membre de l'équation de Fokker-Planck, pour des fonctions de distribution électronique et ionique quelconques. Pour des distributions maxwelliennes excentrées ($T_i \neq T_e$), on trouve

$$\vec{P}_e(\vec{w}) = \Gamma_e \left\{ 2n_e \frac{\vec{w}-\vec{v}_e}{\sigma_e(\vec{w}-\vec{v}_e)^2} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(\vec{w}-\vec{v}_e)^2}{2\sigma_e^2}} - \frac{\sigma_e}{|\vec{w}-\vec{v}_e|} \operatorname{erf}\left(\frac{|\vec{w}-\vec{v}_e|}{\sqrt{2}\,\sigma_e} \right) \right] \right.$$
$$\left. + \left(1 + \frac{m_e}{m_i}\right) n_i \frac{\vec{w}-\vec{v}_i}{\sigma_i(\vec{w}-\vec{v}_i)^2} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(\vec{w}-\vec{v}_i)^2}{2\sigma_i^2}} - \frac{\sigma_i}{|\vec{w}-\vec{v}_i|} \operatorname{erf}\left(\frac{|\vec{w}-\vec{v}|}{\sqrt{2}\,\sigma_i} \right) \right] \right\},$$

$$\vec{\vec{Q}}_e(\vec{w}) = \frac{\Gamma_e}{2} \left(\frac{n_e \sigma_e^2}{|\vec{w}-\vec{v}_e|^3} \left\{ \left[\left(\frac{[\vec{w}-\vec{v}_e]^2}{\sigma_e^2} - 1 \right) \operatorname{erf}\left(\frac{|\vec{w}-\vec{v}_e|}{\sqrt{2}\,\sigma_e} \right) \right. \right. \right.$$
$$\left. + \frac{2\,|\vec{w}-\vec{v}_e|}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_e} e^{-\frac{[\vec{w}-\vec{v}_e]^2}{2\sigma_e^2}} \right] \vec{\vec{\delta}}$$
$$+ \left[\left(3 - \frac{[\vec{w}-\vec{v}_e]^2}{\sigma_e^2} \right) \operatorname{erf}\left(\frac{|\vec{w}-\vec{v}_e|}{\sqrt{2}\,\sigma_e} \right) \right.$$

$$- \frac{6}{\sqrt{2\pi}} \frac{|\vec{w} - \vec{v}_e|}{\sigma_e} e^{-\frac{[\vec{w}-\vec{v}_e]^2}{2\sigma_e^2}} \Bigg] \times \frac{(\vec{w} - \vec{v}_e) \otimes (\vec{w} - \vec{v}_e)}{(\vec{w} - \vec{v}_e)^2} \Bigg\}$$

$$+ \frac{n_i - \sigma_i^2}{|\vec{w} - \vec{v}_i|^3} \Bigg\{ \Bigg[\left(\frac{[\vec{w} - \vec{v}_i]^2}{\sigma_i^2} - 1 \right) \operatorname{erf}\left(\frac{|\vec{w} - \vec{v}_i|}{\sqrt{2}\,\sigma_i} \right) + \frac{2|\vec{w} - \vec{v}_i|}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_i} e^{-\frac{[\vec{w}-\vec{v}_i]^2}{2\sigma_i^2}} \Bigg] \vec{\vec{\delta}}$$

$$+ \Bigg[\left(3 - \frac{[\vec{w} - \vec{v}_i]^2}{\sigma_i^2} \right) \operatorname{erf}\left(\frac{|\vec{w} - \vec{v}_i|}{\sqrt{2}\,\sigma_i} \right) - \frac{6}{\sqrt{2\pi}} \frac{|\vec{w} - \vec{v}_i|}{\sigma_i} e^{-\frac{[\vec{w}-\vec{v}_i]^2}{2\sigma_i^2}} \Bigg] \times \frac{(\vec{w} - \vec{v}_i) \otimes (\vec{w} - \vec{v}_i)}{(\vec{w} - \vec{v}_i)^2} \Bigg\} \Bigg)$$

(et des expressions analogues pour les ions; erf, fonction d'erreur, $\vec{\vec{\delta}}$ tenseur de Kronecker, $\Gamma_{e,i} = e^4 \ln\Lambda / 4\pi\varepsilon_0^2\, m_{e,i}^2$).

On passe de $\vec{P}_e$ à $\langle \vec{P}_e \rangle$ en moyennant sur la distribution de la vitesse électronique. On trouve, au premier ordre en v_e/σ_e et v_i/σ_i :

$$\langle \vec{P}_e \rangle = \frac{\sqrt{2}\, n_i \Gamma_e \left(1 + \frac{m_e}{m_i} \right)}{3\sqrt{\pi}\,(\sigma_e^2 + \sigma_i^2)^{\frac{3}{2}}} (\vec{v}_i - \vec{v}_e) \simeq \frac{\sqrt{2}\, n_i \Gamma_e}{3\sqrt{\pi}\,(\sigma_e^2 + \sigma_i^2)^{\frac{3}{2}}} (\vec{v}_i - \vec{v}_e).$$

De même on a

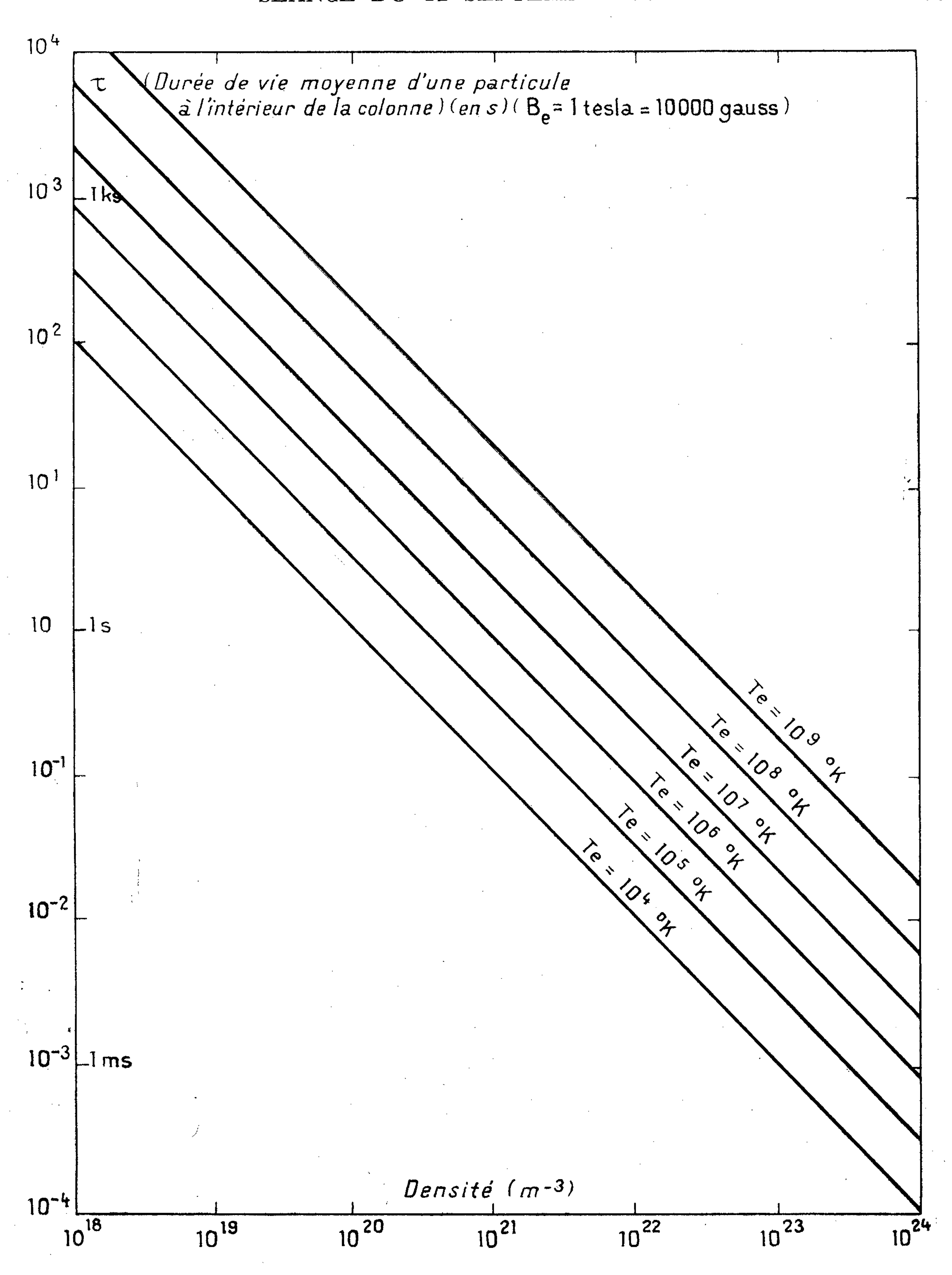
$$\langle \vec{P}_i \rangle = \frac{\sqrt{2}\, n_e \Gamma_i \left(1 + \frac{m_i}{m_e} \right)}{3\sqrt{\pi}\,(\sigma_i^2 + \sigma_e^2)^{\frac{3}{2}}} (\vec{v}_e - \vec{v}_i) \simeq \frac{\sqrt{2}\, n_e \Gamma_i m_i}{3\sqrt{\pi}\,(\sigma_e^2 + \sigma_i^2)^{\frac{3}{2}} m_e} (\vec{v}_e - \vec{v}_i).$$

Si l'on fait $T_e = T_i$, on retrouve les expressions données par Watson.

Des expressions ci-dessus de $\langle \vec{P}_e \rangle$ et $\langle \vec{P}_i \rangle$ (pour $T_e \neq T_i$), on déduit, en suivant la marche de [1] et [2],

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}\, e^2 n^2 \left(1 + \frac{T_i}{T_e} \right) \left(\frac{1}{2} + \ln\Lambda \right)}{12\sqrt{\pi}\, \varepsilon_0^2\, \sigma_e B_e^2 \ln \frac{r_1}{r_0}} \qquad (n_i = n_e = n).$$

Le graphique ci-contre donne la variation de $\tau = \pi r_1^2 n/\Phi$ (durée de vie moyenne d'une particule dans la colonne, dont le rayon est r_1) en fonction de la densité n et de la température électronique T_e (avec $T_i \ll T_e$), pour $r_0 = 1$ cm, $r_1 = 10$ cm, $B_e = 1$ tesla $= 10^4$ gauss.



(*) Séance du 17 août 1960.

(1) J.-M. DOLIQUE, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1221.

(2) J.-M. DOLIQUE et M. Y. BERNARD, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1458.

(3) K. M. WATSON, in *Series of lectures on physics of ionized gases*, T 701, Los Alamos scientific Laboratory, 1956.

(4) M. N. ROSENBLUTH, W. M. MAC DONALD et D. L. JUDD, *Phys. Rev.*, 107, n° 1, 1957, p. 1.

SPECTROSCOPIE D'ÉMISSION. — *Sur le comportement de l'acide azothydrique dans une onde de choc; donnée nouvelle sur le système* $^3\Pi - {}^3\Sigma$ *de* NH. Note de MM. **Henri Guenebaut, Guy Pannetier** et **Pierre Goudmand**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Le passage d'une onde de choc dans l'acide azothydrique gazeux s'accompagne de la décomposition de la molécule et d'une luminescence très intense dont l'analyse spectroscopique a été effectuée. On y observe la séquence principale $v' - v'' = 0$ de NH ($^3\Pi - {}^3\Sigma$) dans laquelle on peut mettre en évidence une nouvelle transition de vibration (3,3) à 3 402 Å; le déplacement isotopique observé avec N_3D confirme ce résultat. Un fond continu est observé dans le domaine d'émission du radical NH_2.

Le passage d'une onde de choc dans un gaz provoque dès l'arrivée du front d'onde une compression adiabatique considérable susceptible d'élever presque instantanément — dans un délai de l'ordre de la microseconde — la température de ce gaz à plusieurs milliers de degrés. Il était intéressant d'appliquer à l'acide azothydrique des conditions d'excitation et de température de réaction aussi inhabituelles au laboratoire.

Pour ces investigations, nous avons utilisé un dispositif (1) constitué essentiellement (*fig.* 1 *a*) par un long tube cylindrique rigide de 5 cm de

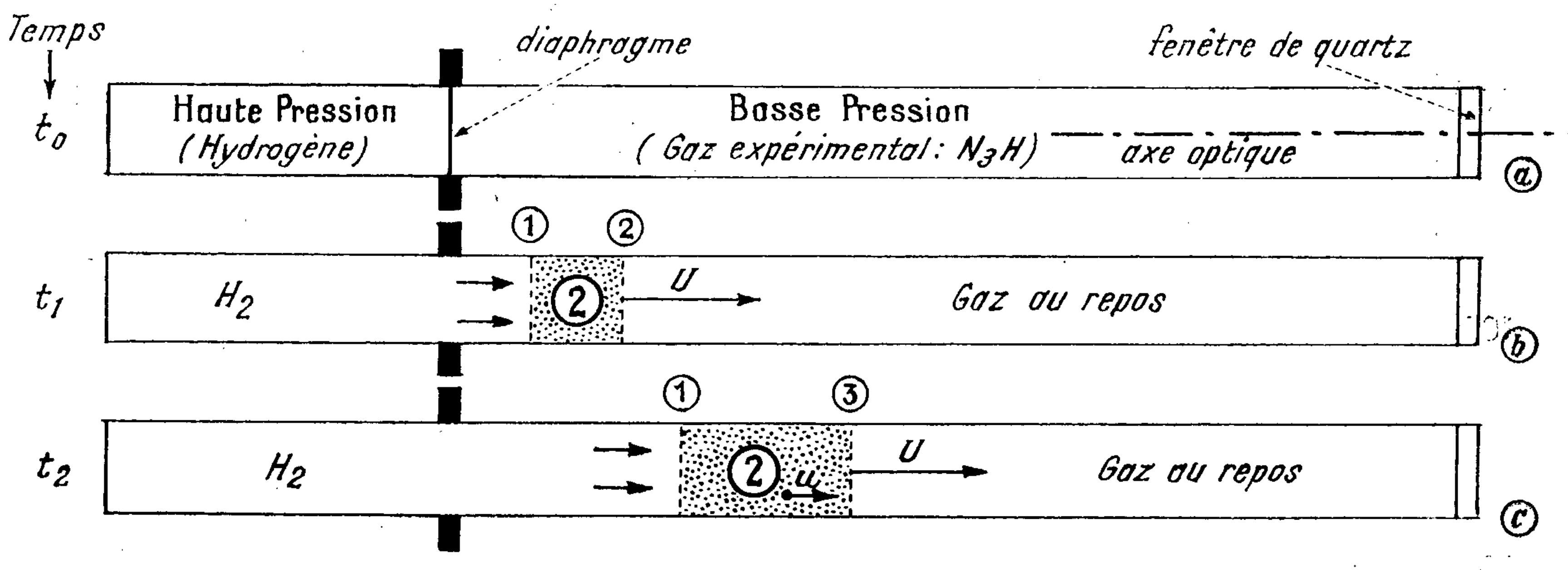
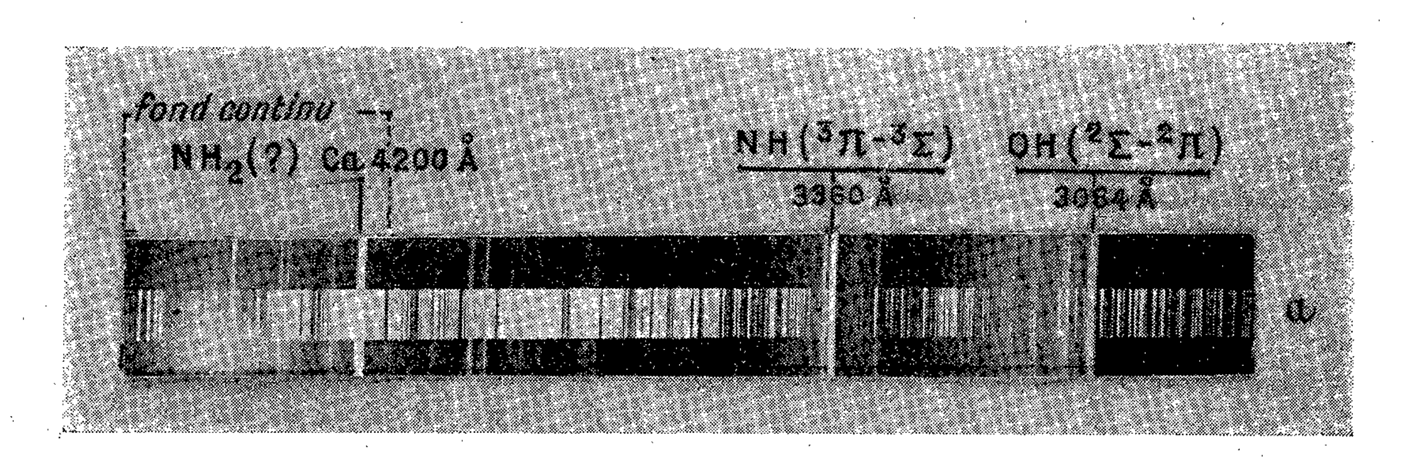


Fig. 1.
(1) Surface de séparation des gaz haute et basse pression : vitesse de propagation *u*.
(2) Onde de choc : état gazeux uniforme avec *p*, *t*, ρ élevés; vitesse des particules gazeuses *u*.
(3) Front de l'onde de choc : vitesse de propagation supersonique U.

diamètre; fermé à ses extrémités par deux faces planes, il est divisé par un mince diaphragme en une chambre haute pression de 80 cm de longueur remplie d'hydrogène sous plusieurs atmosphères et une chambre basse pression de 200 cm de longueur contenant sous quelques millimètres de mercure le gaz expérimental (ici N_3H). La rupture brutale du diaphragme sous l'influence de la haute pression s'accompagne d'une détente instantanée de l'hydrogène et de l'apparition d'un front d'onde de choc (*fig.* 1 *b*, *c*) se propageant à une vitesse supersonique vers l'extrémité opposée de la chambre basse pression; il s'y réfléchit en donnant lieu à une nouvelle

excitation du gaz expérimental déjà soumis à l'onde incidente, jusqu'à sa rencontre finale avec la surface de séparation des gaz où des perturbations prennent naissance.

Des tubes métalliques en acier inoxydable puis en cuivre pur ont tout d'abord été utilisés pour constituer la chambre basse pression, avec des diaphragmes en aluminium de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur et des rapports haute pression/basse pression voisine de 350. Les chocs ainsi obtenus étaient très lumineux mais donnaient lieu à l'excitation d'un assez grand nombre de raies spectrales parasites, caractéristiques



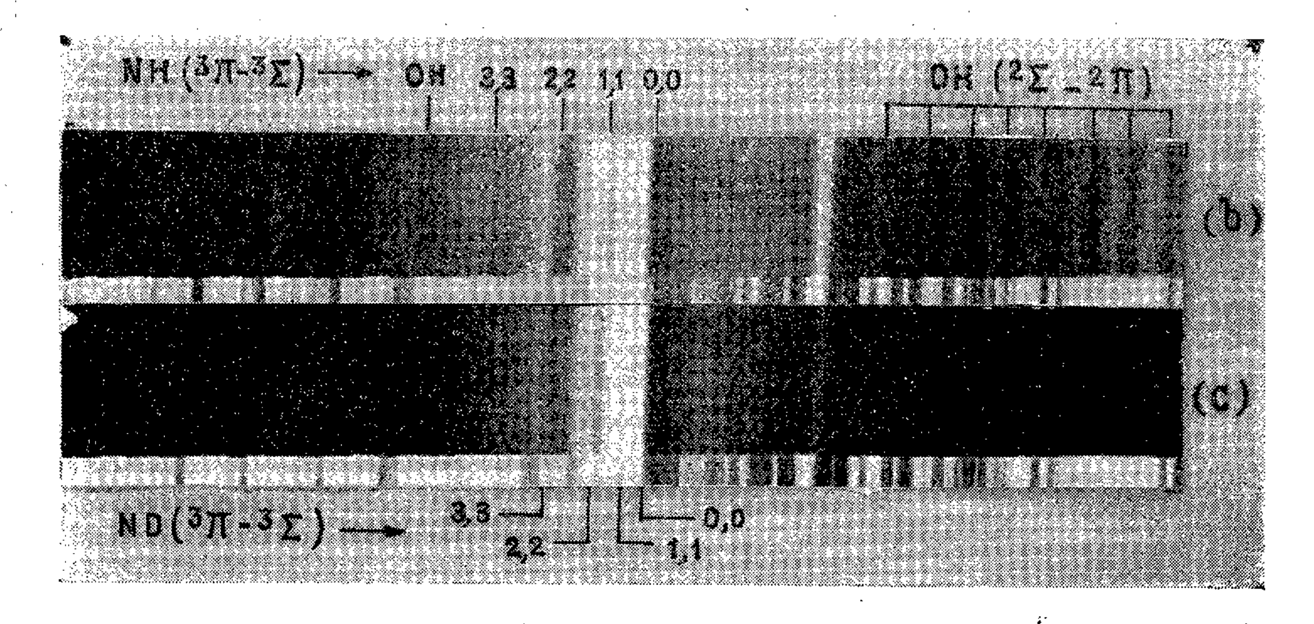


Fig. 2.

a. Spectre de dissociation de N_3H. Huit chocs. Plaque Kodak O — O.
b. Détail. Transition $^3\Pi$ — $^3\Sigma$ de NH. Séquence $v' - v'' = 0$.
c. Id. pour ND.

des métaux utilisés Pour y remédier et pour faciliter l'examen des spectres, des chocs beaucoup plus faibles (rapport des pressions ~ 20) ont ensuite été réalisés dans un tube en pyrex, avec des diaphragmes en acétate de cellulose; les impuretés se limitaient alors à OH, CN, SiN, BO avec quelques raies du calcium.

Les observations spectroscopiques (spectrographe Hilger E.486, plaques Kodak O-0) ont été effectuées axialement (*fig.* 1 *a*) pour permettre l'enregistrement simultané de l'onde incidente et réfléchie à travers une plaque de quartz de 6 mm d'épaisseur. Les spectres représentés sur la figure 2 ont été obtenus avec le tube en pyrex, en superposant sur la même plaque le rayonnement de 5 à 8 chocs successifs dans 35 mm de N_3H (ou N_3D)

pur; ils présentent, vis-à-vis des émissions impliquées à N_3H, les mêmes caractéristiques que les spectres réalisés à partir de très fortes ondes de choc dans des tubes métalliques. Ces caractéristiques consistent principalement :

a. en une émission intense de la séquence principale $v' - v'' = 0$ du système triplet $^3\Pi - {}^3\Sigma$ de NH dont on observe à 3 360, 3 370,9 et 3 383,5 Å respectivement, les bandes bien connues 0,0, 1,1 et 2,2. A 3 402 Å apparaît en outre une nouvelle émission que nous avons attribuée à la bande de vibration 3,3 de la même séquence : elle présente en effet une structure rotationnelle normalement dégradée vers le rouge (2), (3) et sa longueur d'onde concorde d'une manière très satisfaisante avec la valeur de 3 400 Å qu'on peut prévoir pour cette bande (3,3) de NH à l'appui de la théorie et des données expérimentales antérieures (4); l'utilisation de l'acide azothydrique lourd N_3D (*fig.* 1 *b*) au lieu de N_3H, lui fait subir d'autre part un déplacement isotopique en accord avec les valeurs de la constante de déplacement isotopique ρ et des constantes de vibration ω_e et $\omega_e x_e$ de NH déterminées précédemment par deux d'entre nous et A. G. Gaydon (4), (5); elle se situe alors à 3 383 Å.

Toutes ces bandes de NH sont obtenues avec des structures rotationnelles très étendues qui confirment l'établissement de températures élevées dans l'onde de choc. En raison de la présence intense des bandes de OH et de certaines émissions parasites, il est difficile de juger de l'émission des bandes des séquences ± 1 de NH triplet; l'excitation du système singulet $^1\Pi - {}^1\Delta$ de NH à 3 240 Å en particulier, ne semble pas intervenir;

b. en l'apparition d'un fond continu à partir de 4 200 Å c'est-à-dire dans la région des bandes α de l'ammoniac, qui semble pouvoir faire penser à une participation du radical NH_2; il constituerait ainsi le premier exemple d'excitation d'un radical polyatomique dans une onde de choc.

Des enregistrements spectroscopiques ont également été effectués dans les conditions expérimentales précédentes avec l'hydrazine, l'ammoniac et le mélange $(N_2 + H_2)$ plus ou moins dilués dans l'argon; elles feront l'objet de publications ultérieures en même temps que des recherches cinétiques actuellement en cours.

(1) E. L. Resler, S. C. Lin et A. Kantrowitz, *J. App. Phys.*, 23, 1952, p. 1390.
(2) G. W. Funke, *Z. Physik*, 96, 1935, p. 787; 101, 1935, p. 104.
(3) R. N. Dixon, *Canad. J. Phys.*, 37, 1959, p. 1170.
(4) H. Guenebaut, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1959, p. 962.
(5) G. Pannetier, H. Guenebaut et A. G. Gaydon, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 958.

SPECTROGRAPHIE HERTZIENNE. — *Étude d'un polarimètre à cavité unique pour la bande des* 3 cm. Note de MM. **Gaston Raoult** et **René Fanguin**, transmise par M. Louis Néel.

Le polarimètre est constitué par une cavité coaxiale avec un guide circulaire. Le couplage s'effectue par deux antennes à 90° l'une de l'autre, comme avec un polarimètre à pénombre. Un cristal détecteur nous donne directement une tension proportionnelle à la rotation.

Les mesures polarimétriques sont généralement effectuées à l'aide de deux volumes résonnants pourvus chacun d'un cristal détecteur ([1]). L'impossibilité physique d'obtenir l'identité parfaite des deux volumes résonnants et des deux cristaux conduit à certaines difficultés de réglages et de mesures. Nous avons donc été amenés à imaginer un système utilisant une seule cavité et un seul cristal.

Description de l'appareil. — Un guide circulaire de diamètre intérieur 21 mm et de diamètre extérieur 24 mm est parcouru par une onde TE_{11} de fréquence 9 000 MHz. Les rayons de la cavité coaxiale dont le guide forme l'âme centrale sont respectivement $r_1 = 12$ mm et $r_2 = 27$ mm. La cote r_2 a été choisie de manière à éviter l'apparition des modes du type TM dans le volume résonnant.

Un piston annulaire commandé par une vis extérieure de faible pas permet de réaliser l'accord de la cavité en faisant varier sa longueur. Les deux positions extrêmes du piston par rapport au fond de la cavité sont $l_1 = 28$ mm et $l_2 = 62$ mm.

Le couplage de la cavité au guide central s'effectue par deux antennes rectilignes à 90° l'une de l'autre et placées dans un plan de section droite du guide et à 4,5 mm du fond de la cavité. L'enfoncement de ces antennes peut être commandé de l'extérieur par deux vis micrométriques.

Il est à noter que le couplage par trous n'est pas à envisager car la répartition du champ magnétique à la périphérie du guide n'est pas celle du champ électrique qui suit une loi simple en $\cos\theta$. C'est sur cette loi que reposent tous nos calculs.

Un cristal détecteur est couplé à la cavité par une boucle située dans un demi-plan limité par l'axe du guide et la bissectrice OB de l'angle rentrant des antennes et ceci à une distance de 16 mm du fond de la cavité. La boucle se trouve en un maximum de champ magnétique pour le mode TEM à une longueur d'onde de 3,2 cm.

Principe de l'appareil. — L'étude théorique de la cavité montre que pour la bande 8 500-9 600 MHz, on peut avoir les modes suivants : TEM, TE_{11}, TE_{21}, TE_{31} et TE_{41}, ce dernier en bout de gamme seulement. Le mode TEM est celui que nous utiliserons, il n'a aucun recoupement avec les autres dans le domaine utilisé. Il est facilement repérable par une simple mesure de la position du piston lorsqu'on connaît la longueur d'onde à laquelle on travaille.

Soit E le vecteur électrique faisant un angle θ avec *ox* dirigé suivant A_1. L'antenne A_1 reçoit : E cos θ; l'antenne A_2 : E sin θ. Chacune induit pour son propre compte un mode TEM dans la cavité.

La superposition de ces deux modes TEM dont les vecteurs électriques et magnétiques sont colinéaires et dont les amplitudes sont proportionnelles à $E\cos\theta$ et à $E\sin\theta$, conduit à faire la somme $E\sin\theta + E\cos\theta$ à l'intérieur de la cavité.

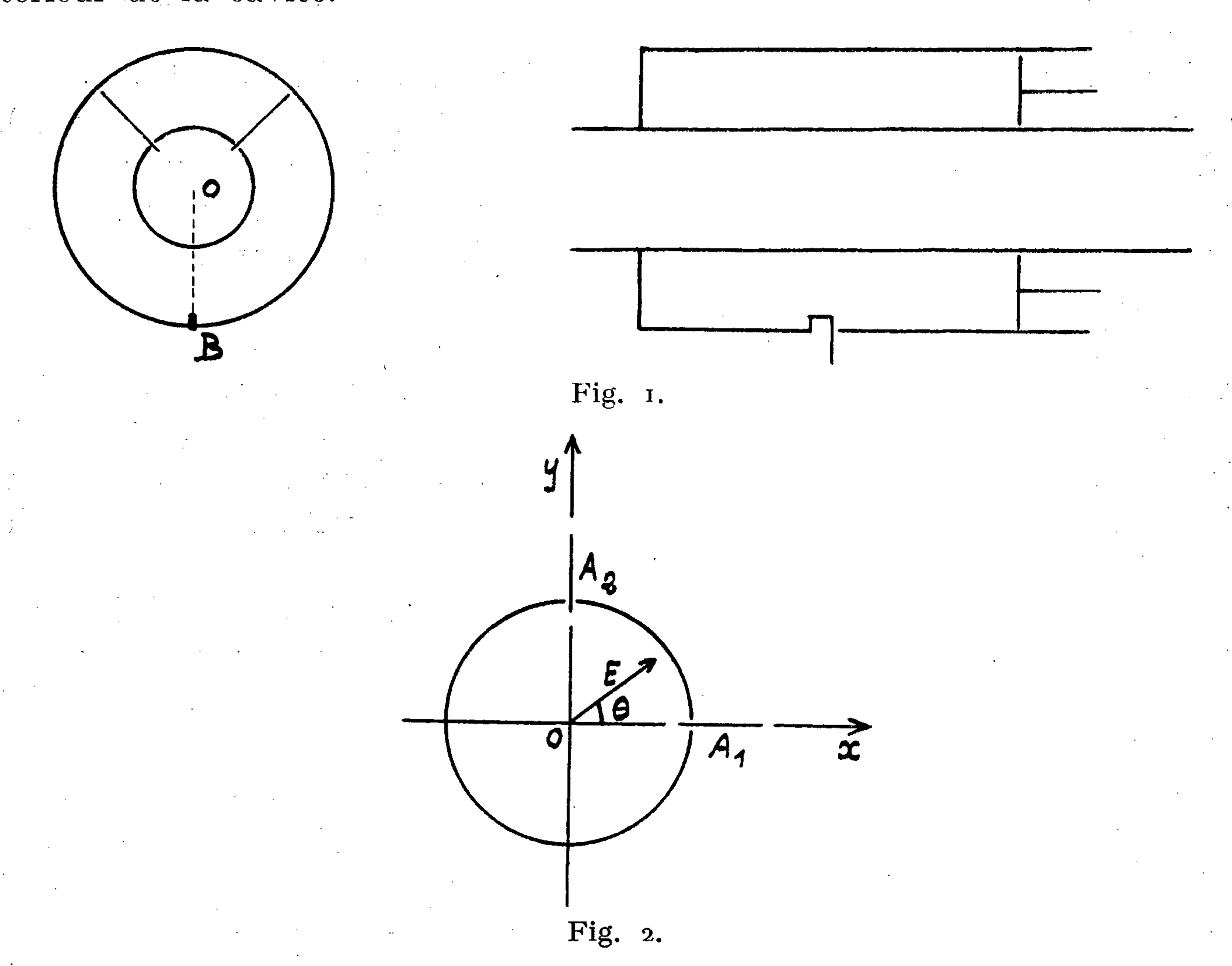


Fig. 1.

Fig. 2.

Le cristal détecteur donnera une tension proportionnelle au carré de l'amplitude, et si θ est petit

$$V = KE^2(1 + 2\theta).$$

Cette formule reste valable pour une vibration elliptique de faible ellipticité.

On voit que la tension détectée est proportionnelle à la rotation; un étalonnage de l'appareil en rotation est donc possible.

Résultats. — Les courbes obtenues par Gozzini [2] sur les composés du manganèse en polarisation rotatoire magnétique sont en bon accord avec celles obtenues par notre dispositif.

[1] *Onde électrique,* supplément spécial, Congrès International Circuits et Antennes, 38, n° 376 *bis,* 1957, p. 327.

[2] *Il Nuovo Cimento,* 7, n° 12, 1er décembre 1951.

(*Laboratoire de Radioélectricité, Faculté des Sciences, Clermont-Ferrand.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Nouvelle méthode de préparation de dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique.* Note de MM. **Jean Cheymol, Pierre Chabrier** et **Mohamed Sélim**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les auteurs décrivent une nouvelle méthode de préparation de dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique consistant à faire réagir un chlorure d'acide orthophosphorique disubstitué sur le sel de tétraméthylammonium d'un dérivé disubstitué de l'acide orthophosphorique.

Dans de récentes Notes [1], [2] nous avons décrit un procédé de préparation de dérivés trisubstitués de l'acide orthophosphorique entièrement asymétriques (I) A, B et R pouvant être indifféremment un reste alcoylique ou amidé. Ce procédé consiste essentiellement à remplacer un radical « méthyle » par un radical R à la suite des réactions suivantes :

$$\underset{\text{(II)}}{CH_3OP(=O)(A)(B)} + (CH_3)_3N \rightarrow (CH_3)_4NOP(=O)(A)(B) + RX \rightarrow \underset{\text{(I)}}{ROP(=O)(A)(B)} + (CH_3)_4NX$$

La même réaction peut s'effectuer autant de fois qu'il existe de radicaux « méthyle » dans le dérivé trisubstitué (II).

Nous décrirons dans cette Note, la préparation de composés dans lesquels $RX = (A)(B)P(=O)Cl$ c'est-à-dire les dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique (III) préparés suivant la réaction

$$(A)(B)P(=O)ON(CH_3)_4 + ClP(=O)(C)(D) \rightarrow \underset{\text{(III)}}{(A)(B)P(=O)\text{—}O\text{—}P(=O)(C)(D)} + (CH_3)_4NCl$$

dans laquelle A, B, C et D représentent soit un reste alcoylique, aralcoylique, arylique —OR ou amidé —NR′R″.

Cette nouvelle méthode de préparation des dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique peut s'effectuer à tous les stades en milieu anhydre et neutre à partir de composés purs; elle permet un large choix de la nature des radicaux A, B, C, D et conduit directement à des substances pures ou faciles à purifier.

1. *Préparation d'un sel de tétraméthylammonium d'un dérivé disubstitué de l'acide orthophosphorique.* — Dans de récentes Notes [1], [2] nous avons indiqué la préparation des composés de la forme (IV), (V) et (VI) :

$$\underset{\text{(IV)}}{(RO)(R'O)P(=O)ON(CH_3)_4} \qquad \underset{\text{(V)}}{(RO)(R''R'N)P(=O)ON(CH_3)_4} \qquad \underset{\text{(VI)}}{(R''R'N)(R''R'N)P(=O)ON(CH_3)_4}$$

2. *Préparation du monochlorure d'un diester de l'acide orthophosphorique* (VII) *ou du monochlorure d'un phosphorodiamide* (VIII) :

$$\mathrm{ClP(=O)(OR)(OR')} \quad \text{(VII)} \qquad\qquad \mathrm{ClP(=O)(NRR')(NRR')} \quad \text{(VIII)}$$

Les préparations de telles substances sont connues; pour les composés (VII), elles consistent le plus souvent à faire réagir PCl_3 sur les alcools et à traiter le phosphite ainsi préparé par SO_2Cl_2, pour les composés (VIII), on fait réagir directement $POCl_3$ sur l'amine.

3. *Dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique.* — Ces composés s'obtiennent par action des sels (IV), (V) et (VI) sur les dérivés chlorés (VII) ou (VIII).

La réaction s'effectue le plus commodément en phase hétérogène dans un solvant neutre de préférence (benzène, éther, toluène, dioxane, etc.) à froid et en agitant énergiquement. La durée de la réaction varie avec la nature des composés engagés (le plus souvent quelques heures).

Le chlorure de tétraméthylammonium formé, insoluble, est éliminé par filtration, le pyrophosphate tétrasubstitué formé restant dans le milieu. On évapore le solvant utilisé et purifie le résidu par distillation sous vide, par recristallisation ou par toute autre technique appropriée.

Le tableau ci-dessous donne quelques constantes de dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique préparés selon cette méthode; il ne s'y trouve pas, pour l'instant de dérivés diamidés issus des composés (VI) ou (VIII) :

$$\mathrm{(A)(B)P(=O)-O-P(=O)(C)(D)}$$

A.	B.	C.	D.	É (°/mm Hg).	Rdt (%).
$-OC_2H_5$	$-OC_2H_5$	$-OC_2H_5$	$-OC_2H_5$	110/0,03	65
$-OCH_3$	$-OCH_3$	$-OCH_3$	$-OCH_3$	105/0,05	57
$-OC_4H_9$	$-OC_4H_9$	$-OC_4H_9$	$-OC_4H_9$	115/0,01	56
$-OCH_3$	$-OCH_3$	$-OC_2H_5$	$-OC_2H_5$	110/0,1	55
$-OCH_3$	$-OCH_3$	$-OC_4H_9$	$-OC_4H_9$	115/0,05	50
$-OC_2H_5$	$-OC_2H_5$	$-OCH_3$	$-OCH_2-C\equiv CH$	110/0,01	60
»	»	»	$-N(CH_3)_2$	110/0,01	55
»	»	»	$-N(C_2H_5)_2$	112/0,01	50
»	»	»	—N⟨⟩O	112/0,01	48
»	»	»	—N⟨⟩	116/0,01	47
$-OCH_3$	$-OCH_3$	»	$-N(CH_3)_2$	115/0,1	38
»	»	»	$-N(C_2H_5)_2$	112/0,02	35
»	»	»	—N⟨⟩O	110/0,03	40
»	»	»	—N⟨⟩	115/0,05	40

Dans de prochaines publications nous indiquerons quelques propriétés nouvelles des dérivés tétrasubstitués de l'acide pyrophosphorique et de nouveaux exemples d'utilisation de la réactivité des sels de tétraméthylammonium de la forme $\genfrac{}{}{0pt}{}{A}{B}\!\!>\!\underset{\underset{O}{\|}}{P}\text{—ON}(CH_3)_4$.

([1]) J. Cheymol, P. Chabrier, M. Sélim et P. Leduc, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2573.

([2]) J. Cheymol, P. Chabrier, M. Sélim et Thuong Nguyen Thanh, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 550.

(*Institut de Pharmacologie, Faculté de Médecine, Paris.*)

ALGOLOGIE. — *Sur la reproduction du* Gymnogongrus norvegicus (*Gunner*) *J. Agardh, en Méditerranée.* Note de M. **Georges Schotter**, présentée par M. Lucien Plantefol.

On pensait jusqu'ici que le *G. norvegicus* (Gunner) J. Agardh n'était représenté en Méditerranée que par les tétrasporophytes de l'espèce, et que, de ce fait, il devait s'y reproduire selon un cycle aberrant où n'intervenait ni fécondation ni méiose. En réalité ces plantes ne sont pas des tétrasporophytes; ce sont des gamétophytes monoïques, donnant naissance à des tétrasporophytes réduits dont les tétraspores reproduisent de nouveaux gamétophytes.

Il a été établi, à la suite des travaux de Yamanouchi, qu'il existe chez les Floridées une alternance de générations correspondant à un cycle complexe de reproduction. Ce cycle, pour employer la terminologie de J. Feldmann (1), est diplo-haplophasique et trigénétique. L'analyse d'un cycle normal de Floridée diplobionte montre en effet : 1° des gamétophytes libres et haploïdes; 2° des carposporophytes diploïdes se développant en parasites sur les gamétophytes après la fécondation, et donnant naissance à des carpospores; 3° des tétrasporophytes libres, diploïdes, nés des carpospores, et portant des spores méiotiques d'où naîtront les gamétophytes de départ.

Un tel cycle, bien que général chez les Floridées, peut se trouver modifié par suite de la suppression d'une des phases ou d'une des générations du cycle. C'est, entre autres, le cas des Phyllophoracées, où les anomalies sont si fréquentes qu'elles semblent y être devenues la règle.

Parmi ces anomalies, il en est une qui concerne le *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) J. Agardh et qui a plus particulièrement retenu notre attention. En effet, si dans la Manche cette Algue présente à la fois des tétrasporophytes et des gamétophytes porteurs de carposporophytes, elle ne présente plus en Méditerranée et en beaucoup d'autres régions, que des tétrasporophytes. En d'autres termes, alors que dans la Manche l'espèce paraît se reproduire suivant un cycle normal, en Méditerranée et ailleurs ce cycle se trouve réduit aux seuls tétrasporophytes. Dans ces conditions, il devient difficile d'expliquer le cycle aberrant de la plante méditerranéenne; pour y parvenir, il faut admettre comme on l'a fait jusqu'ici, qu'il n'intervient dans ce cycle ni gamie, ni méiose.

L'explication des faits nous a été donnée au cours de nos recherches sur les cycles de reproduction des *Gymnogongrus* méditerranéens. Les résultats que nous avons obtenus montrent que les *G. norvegicus* de la Méditerranée qui, du fait de la présence de némathécies, paraissent être des tétrasporophytes, sont en réalité des gamétophytes. En pratiquant des coupes de thalles, nous avons pu constater l'existence d'anthéridies et de procarpes dont le développement produit, *vraisemblablement après fécondation*, non pas un gonimoblaste et des carpospores, mais une néma-

thécie et des tétraspores. Autrement dit, les *G. norvegicus* de Méditerranée sont des gamétophytes qui donnent naissance à des tétrasporophytes réduits et parasites, qui remplacent les carposporophytes et dont les tétraspores haploïdes reproduisent directement de nouveaux gamétophytes. Nous retrouvons ainsi un cycle qui, bien que modifié, n'en est pas moins biologiquement normal, avec gamètes, fécondation et méiose.

Ces résultats sont d'autant plus intéressants qu'ils rejoignent, en les complétant, ceux obtenus par différents auteurs dans l'étude d'autres Phyllophoracées où seuls existent les tétrasporophytes : *Phyllophora Brodiæi* C. Ag. (Rosenvinge, 1929) (2), *Gymnogongrus Griffithsiæ* (Turn.) Mart. (Gregory, 1934) (3), *Gymnogongrus platyphyllus* Gardn. (Doubt, 1935) (4). Mais il est alors permis de se demander, après de tels résultats, si les gamétophytes et les tétrasporophytes qu'on connaît aux *G. norvegicus* de la Manche, constituent une unique espèce. Étant donné l'analogie de structure des némathécies dans la Manche et la Méditerranée, il est très possible que la reproduction des tétrasporophytes de la Manche soit identique à celle des tétrasporophytes de la Méditerranée. Auquel cas nous aurions dans la Manche non plus une, mais deux espèces, très voisines morphologiquement et ne se distinguant guère que par la nature des spores (carpospores ou tétraspores) produites par l'individu parasite issu du zygote. Le cas ne serait pas sans précédent dans la famille où de tels couples d'espèces existent déjà : *Gymnogongrus pusillus* (Mont.) Feldm. et Mazoyer et *Gymnogongrus Griffithsiæ* (Turn.) Mart. en Méditerranée, *Gymnogongrus linearis* (Turn.) J. Ag. et *Gymnogongrus platyphyllus* Gardn. en Californie.

(1) J. FELDMANN, *Rev. Cyt. et Biol. Vég.*, 13, nos 1-2, 1952, 50 pages et figures.
(2) L. K. ROSENVINGE, *Dansk. Vidensk. Selsk., Biol. Meddelels.*, 8, no 4, 1929.
(3) B. D. GREGORY, *Linn. Soc. Bot.*, 49, 1934, p. 531-551.
(4) D. G. DOUBT, *Amer. J. Bot.*, 22, 1935, p. 294-310.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Action de la gibbérelline sur l'allongement des filets staminaux chez les Graminées.* Note (*) de M. **Jean Schaeverbeke**, transmise par M. Roger Gautheret.

La gibbérelline favorise l'allongement des filets staminaux jeunes de Graminées, alors que les auxines semblent sans action. L'adjonction de sucres permet d'obtenir un allongement comparable à celui de l'anthèse, et se montre indispensable dans certains cas.

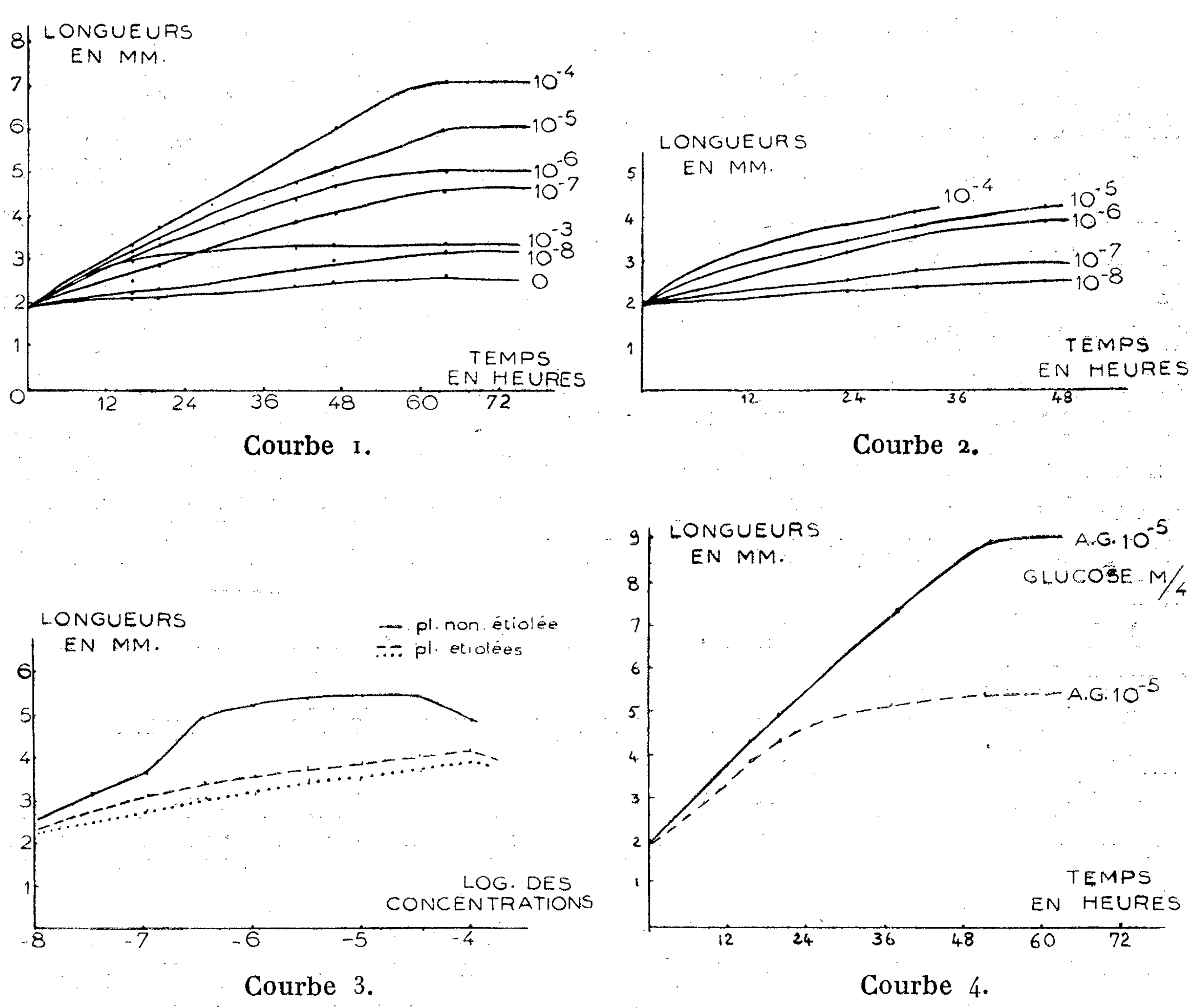
Dans une publication précédente, j'ai signalé certaines particularités physiologiques de l'allongement des filets staminaux de *Poa annua* L. (1). La présente Note apporte de nouveaux résultats obtenus, soit avec la même espèce, soit avec *Pennisetum typhoideum* L. Rich.

1. Les essais réalisés avec *P. annua* avaient fait ressortir l'intérêt, comme objet de recherches, des filets « jeunes », prélevés sur la fleur un certain temps avant l'anthèse. Les filets « mûrs » isolés juste au début de l'anthèse et placés en présence d'eau pure, s'allongent très rapidement comme dans la floraison normale. Les filets jeunes ne s'allongent pas en présence d'eau pure; cependant l'addition de saccharose détermine une croissance, plus lente que celle des filets « mûrs », mais qui atteint finalement une valeur presque comparable. J'avais noté, en outre, l'inactivité des substances de croissance classiques sur ce phénomène. *Penn. typhoideum* donne lieu à des observations analogues; en outre, il présente l'avantage, grâce à son inflorescence en épi et à sa protérogynie, de permettre une recherche plus facile des filets jeunes, prélevés à un stade uniforme. J'ai choisi celui de la maturité du pistil, qui précède de quelques jours l'anthèse (maturité du filet). Prélevés à ce stade, les filets ne s'allongent pas en présence d'eau pure.

2. Les substances de croissance telles que l'acide indole-β-acétique (A. I. A.), l'acide naphtalène-α-acétique, l'acide 2.4-dichlorophénoxyacétique, seules ou avec addition de sucres, se montrent inefficaces pour provoquer la croissance des filets jeunes chez *Penn. typhoideum* comme chez *P. annua* (1). Par contre, la gibbérelline (acide gibbérellique : A. G.) même utilisée seule (en solution dans l'eau à la surface de laquelle sont placés les filets), provoque un allongement notable des filets jeunes de *Penn. typhoideum*, les concentrations efficaces étant comprises entre 3.10^{-8} et 10^{-4} g/ml (aux doses plus élevées l'A. G. est toxique). Dans les conditions favorables et à la température de 20° C, l'allongement peut atteindre de 250 à 300 %, ce qui correspond à un accroissement légèrement inférieur au maximum normal (filets mûrs : 400 %; longueur finale : 9 mm environ).

3. Une certaine variabilité dans la sensibilité à l'A. G. paraît se manifester entre les échantillons utilisés au cours de ces expériences. Parfois,

l'action optimale a lieu dès la concentration de 3.10^{-7} g/ml et se maintient jusqu'à 3.10^{-5} g/ml; une solution de 10^{-4} g/ml semble déjà toxique; d'autres fois l'optimum n'est atteint qu'à la concentration de 10^{-4} g/ml (courbe 1). Un épi maintenu plusieurs jours à une lumière faible fournit des filets dont la réactivité paraît diminuer progressivement (courbes 2 et 3).



Courbe 1. Courbe 2.

Courbe 3. Courbe 4.

Action de la gibbérelline sur les filets staminaux jeunes de *Pennisetum typhoideum*.
(Les concentrations sont exprimées en g/ml.)

Courbe 1 : les filets ont été prélevés sur une plante partiellement étiolée.
Courbe 2 : les filets ont été prélevés sur une plante très étiolée.
Courbe 3 : les filets ont été prélevés sur des plantes plus ou moins étiolées. Les mesures ont été faites après 24 h d'expérience.
Courbe 4 : action comparée de l'A. G. utilisé seul et en présence de glucose sur les filets provenant d'une plante partiellement étiolée.

Ces différences disparaissent lorsqu'on ajoute du glucose ou du saccharose à la solution d'A. G. (par exemple : A. G. 10^{-5}, glucose M/12 à M/2) : dans tous les cas les filets atteignent alors l'allongement maximal (courbe 4). Des solutions de mannitol d'égale molarité ne produisent aucune stimulation : les sucres paraissent donc agir par un effet trophique plutôt que par leur pouvoir osmotique. Les différences de sensibilité à l'A. G. seraient peut-être liées à des différences dans la teneur initiale en glucides des filets :

en lumière réduite l'étiolement accentuerait ces différences par diminution de la photosynthèse.

4. L'addition d'A. I. A. (10^{-8} ou 5.10^{-7} g/ml par exemple) aux solutions d'A. G. dans la gamme des concentrations efficaces, ne produit aucun effet synergique, contrairement à ce qui a été signalé pour d'autres matériels par divers auteurs ([2]), ([3]). De même, l'acide naphtoxyacétique ne détermine d'inhibition de l'A. G. qu'à des doses relativement élevées (10^{-4} g/ml), où ce produit agit sans doute par toxicité; l'action stimulante de l'A. G. paraît donc spécifique et non liée à une intervention d'A. I. A.

5. La croissance provoquée chez les filets jeunes de *Penn. typhoideum* par l'A. G. aboutit à un résultat final analogue à ce qu'on observe chez les filets mûrs : les cellules épidermiques s'étirent considérablement dans le sens longitudinal, sans se multiplier; les trachéides sont totalement disloquées en fin d'allongement. Mais la vitesse de croissance ainsi obtenue est nettement plus faible que celle de l'élongation normale des filets prêts à l'anthèse; ceux-ci, isolés de la fleur, atteignent leur longueur finale en 2 h au plus, alors qu'il faut 48 h aux filets jeunes en présence d'A. G. à 20° C pour parvenir à un résultat analogue. Même à la température de 30° C, favorable à l'allongement, la vitesse demeure encore relativement faible.

6. Des résultats complémentaires ont aussi été obtenus avec les filets jeunes de *P. annua*.

1° L'A. G. employé seul ne provoque qu'un faible allongement des filets quelle que soit la température;

2° En présence de sucres (glucose ou saccharose) l'A. G. déclenche après un temps de latence variable, un accroissement très rapide, rappelant celui qui caractérise l'anthèse normale;

3° Les exigences relatives à cet accroissement augmentent donc en raison inverse de l'âge des filets : à maturité, il leur suffit de l'eau pure; un peu plus jeunes, l'élongation nécessite l'emploi d'une solution sucrée; encore plus jeunes, l'adjonction d'A. G. aux sucres favorise nettement le phénomène.

En conclusion, la gibbérelline se montre capable de provoquer l'accroissement des filets jeunes, tandis que les autres substances de croissance demeurent sans action. Les conditions nécessaires à l'action de l'A. G. peuvent différer suivant les espèces : chez *Penn. typhoideum* l'A. G. peut suffire seul, mais l'adjonction concomitante de sucres favorise nettement cette croissance, surtout si les réserves internes ont été appauvries par un début d'étiolement. Chez *P. annua* l'adjonction de sucres constitue une exigence impérative.

(*) Séance du 17 août 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 444.

([2]) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1715.

([3]) *Plant Physiol.*, 34, 1959, p. 16-22.

MICROBIOLOGIE DES SOLS. — *Sur le métabolisme du phénol dans les sols.*
Note de MM. **Richard Moreau**, **Marcel Jacob** et **Jacques Augier**, présentée par M. Philibert Guinier.

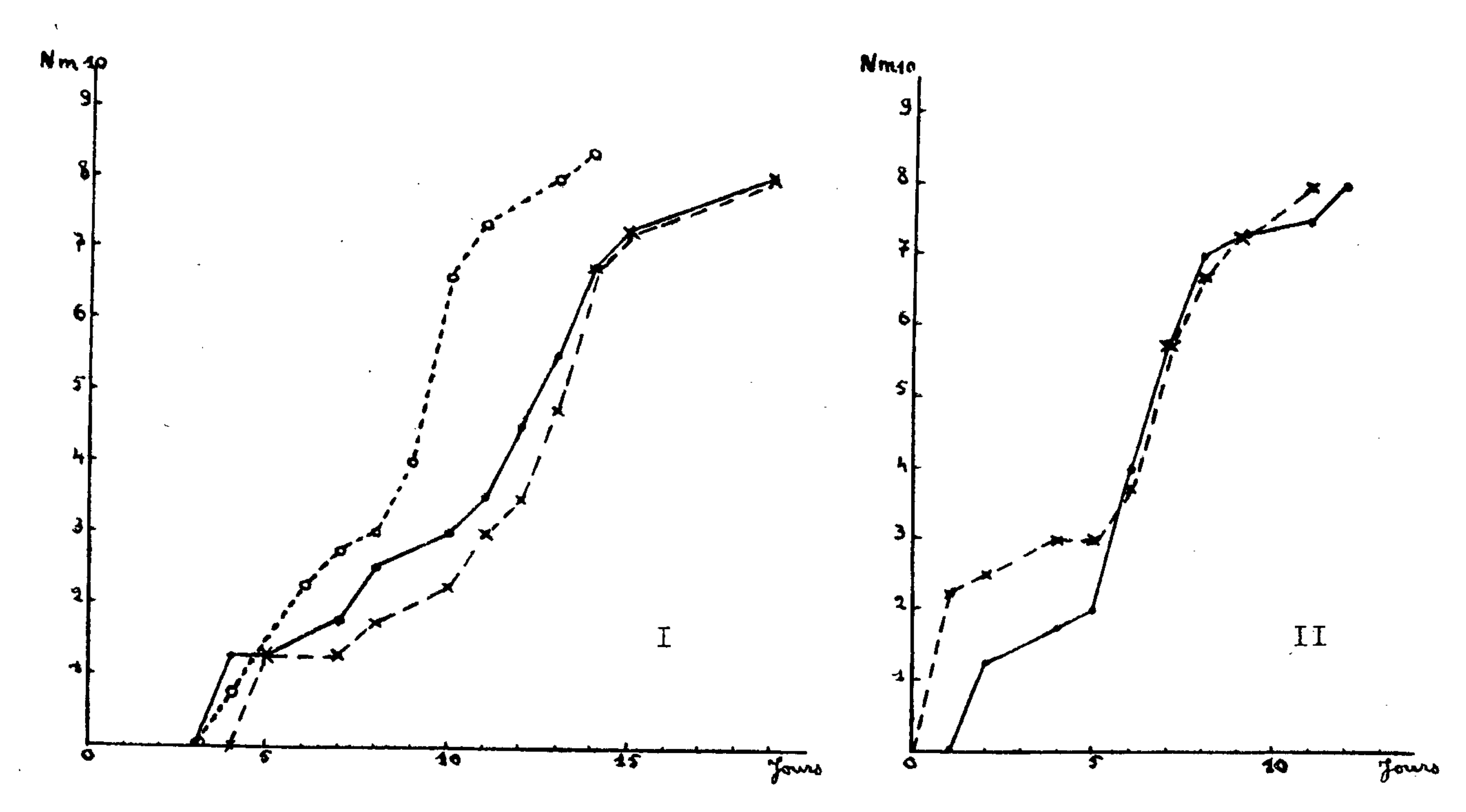
Certains micro-organismes du sol sont capables d'utiliser le phénol comme source de carbone. Il semble qu'on puisse atteindre ainsi une partie de la microflore « autochtone » du sol.

La plupart des résultats obtenus jusqu'ici en biologie des sols concernent la microflore dite « zymogène » qui est de loin la plus facile à étudier. Par contre, il est beaucoup plus difficile d'atteindre la flore capable de dégrader les éléments organiques les plus caractéristiques du sol, des éléments ligneux aux complexes humiques. On sait qu'une partie importante de ces substances est constituée par des noyaux phénoliques. Il nous a donc paru intéressant d'étudier la réponse de la microflore totale de sols différents lorsqu'on la cultive sur des milieux renfermant du phénol pur. La technique à la fois la plus générale et la plus fine semble bien être celle qui emploie des milieux liquides ensemencés par des dilutions-suspensions de terre : nous l'avons montré à plusieurs reprises.

Dans cette Note, nous rendons compte des résultats obtenus en étudiant une terre de jardin, moyennement fertile, et une rendzine forestière. Nous avons employé cinq milieux de culture différents, contenant tous du phénol comme source de carbone, ainsi qu'un sel d'ammonium, un nitrate ou un acide aminé comme source d'azote. Les doses ont été calculées pour que le rapport C/N des milieux soit sensiblement égal à 10. La formule générale de ces milieux a été donnée antérieurement. En dehors des éléments de base, ils contiennent respectivement : phénol, 0,50 ou 0,25 g/l et les doses de sulfate d'ammonium (n°s 1 et 2) ou de nitrate (n°s 3 et 4) correspondantes; phénol, 0,25 g; alanine, id. (n° 5). Ces milieux sont répartis en tubes et stérilisés. On ensemence avec des dilutions de terre, puis on procède chaque jour aux lectures en utilisant le réactif de Millon comme révéléateur du phénol. L'interprétation des résultats est faite comme il est indiqué ailleurs ([1]).

On constate que le phénol est attaqué beaucoup plus vite dans le cas de la terre forestière que dans celui de la terre de jardin (*figure*). Tout se passe comme si des germes spécialisés préexistent dans la première, alors que, dans la seconde, des germes doivent s'adapter à une source carbonée nouvelle. Toutefois, dans la terre de jardin, le métabolisme du phénol semble s'opérer régulièrement une fois déclenché, alors qu'il n'en est pas de même dans la terre forestière. Dans celle-ci en effet, la réponse rapide d'une minorité de germes — par ailleurs sensibles au phénol comme en

témoigne la différence entre les deux courbes, suivant que le milieu contient 0,5 g ou seulement 0,25 g de phénol par litre —, est suivie d'une période d'arrêt momentané, puis d'une flambée nouvelle et rapide. On peut donc penser que deux flores différentes entrent en jeu : l'une à tendance zymogène est à la fois très active et sensible au phénol envisagé comme antiseptique; l'autre est moins active, mais plus nombreuse puisqu'elle atteint sensiblement le même niveau que la flore totale; de plus, elle supporte bien le phénol. Il est même probable que si l'on augmentait encore la dose de phénol du milieu, la première flore disparaîtrait et l'on



Courbes de consommation du phénol par la microflore des deux sols étudiés.

I. Terre de jardin. II. Rendzine forestière.

---O---O--- Milieu au phénol : 0, 5 g ‰ et $(NH_4)_2SO_4$;
———●——— » » 0, 5 g ‰ et KNO_3;
--×--------- » » 0,25 g ‰ et KNO_3.

obtiendrait une courbe semblable à celle que donne la terre de jardin, qui ne présente aucun effet zymogène. On peut donc considérer que la seconde partie de la courbe représente vraiment l'activité d'une partie de la flore caractéristique du sol [2]; celle-ci est seulement plus active dans la terre forestière.

Nous avons remarqué aussi que la flore n'est pas indifférente à la source d'azote proposée : en présence de sel d'ammonium, le phénol est consommé plus rapidement qu'avec les nitrates. Il faut en moyenne cinq jours de moins pour obtenir une destruction totale du phénol. Avec l'alanine, la réponse est intermédiaire. On doit noter enfin que l'apparition de nitrites a été constante dans le cas des milieux 3 et 4, mais n'est pas significative. D'autres essais devront être effectués.

En conclusion, il semble que la terre forestière soit mieux adaptée au métabolisme des phénols que la terre de jardin. On peut d'ailleurs remarquer, à ce sujet, qu'une terre de forêt reçoit des apports ligneux constants, alors qu'il n'en est pas de même de la seconde. Il apparaît aussi que la dégradation du phénol s'effectue plus vite en présence d'azote ammoniacal que d'azote nitrique. On peut penser de même qu'un excès de composés ammoniacaux favorise une destruction plus rapide des réserves humiques dans les sols.

(1) J. AUGIER et R. MOREAU, *Ann. Inst. Pasteur*, 1960 (sous presse).
(2) Flore « autochtone », de Winogradsky.

PHYSIOLOGIE CARDIAQUE. — *Une nouvelle méthode d'enregistrement du rythme cardiaque.* Note (*) de MM. **René Distel** et **Surendra Kundan Lal**, présentée par M. Léon Binet.

Un oscillographe muni d'un dispositif simple permet d'enregistrer tout phénomène périodique sous forme de réseau. Ce dernier met en évidence d'une façon suggestive les variations de fréquence, se prête à des mesures précises et facilite les enregistrements de longue durée.

Historique. — La palpation du pouls a bénéficié depuis l'antiquité de tous les progrès de l'horlogerie. L'enregistrement ne remonte qu'à Marey ([1]). Les multiples techniques cardiographiques et sphygmométriques, suivies par la découverte de l'électrocardiographie ([2]), ([3]), ([4]), ont rendu possibles des mesures précises sur le rythme permettant l'exploration de l'automatisme cardiaque sur les animaux les plus divers et dans les circonstances physiologiques les plus variées. Les pharmacologistes ont pu apprécier les propriétés chronotropes de toutes les drogues et les médecins, établir solidement la pathologie du rythme cardiaque.

La somme et l'importance même de ces travaux ont incité certains chercheurs à substituer au graphique unidimensionnel qui ne donne que l'instant de la pulsation cardiaque et nécessite des mesures ultérieures, un rythmogramme ayant en ordonnées la durée du cycle cardiaque et en abscisses le temps. Nombreux sont les dispositifs imaginés qui n'ont pas tous retenu l'attention qu'ils méritaient ([5]), ([6]), ([7]), ([8]).

Principe de la méthode. — On utilise un oscillographe cathodique muni d'un balayage horizontal bien régulier. Un balayage vertical lui est adjoint qui permet d'utiliser la plus grande partie de l'écran. L'électrocardiogramme, par l'intermédiaire d'un amplificateur, module la tension appliquée à l'électrode de Wehnelt. Ainsi il ne se manifeste que par un brusque éclat du spot cathodique correspondant à une onde de grande amplitude (onde R par exemple). Chaque battement se traduit par un point lumineux sur l'écran du tube. Sur une photographie de l'écran, les points successifs s'alignent sur des droites parallèles obliques : si le rythme est constant on obtient un réseau (*fig.* 2) qui permet de calculer aisément la fréquence. Si le rythme présente des irrégularités ou des variations progressives, les déformations du réseau sont particulièrement suggestives et fournissent toutes les données nécessaires au calcul dont nous exposons les principes dans une publication ultérieure.

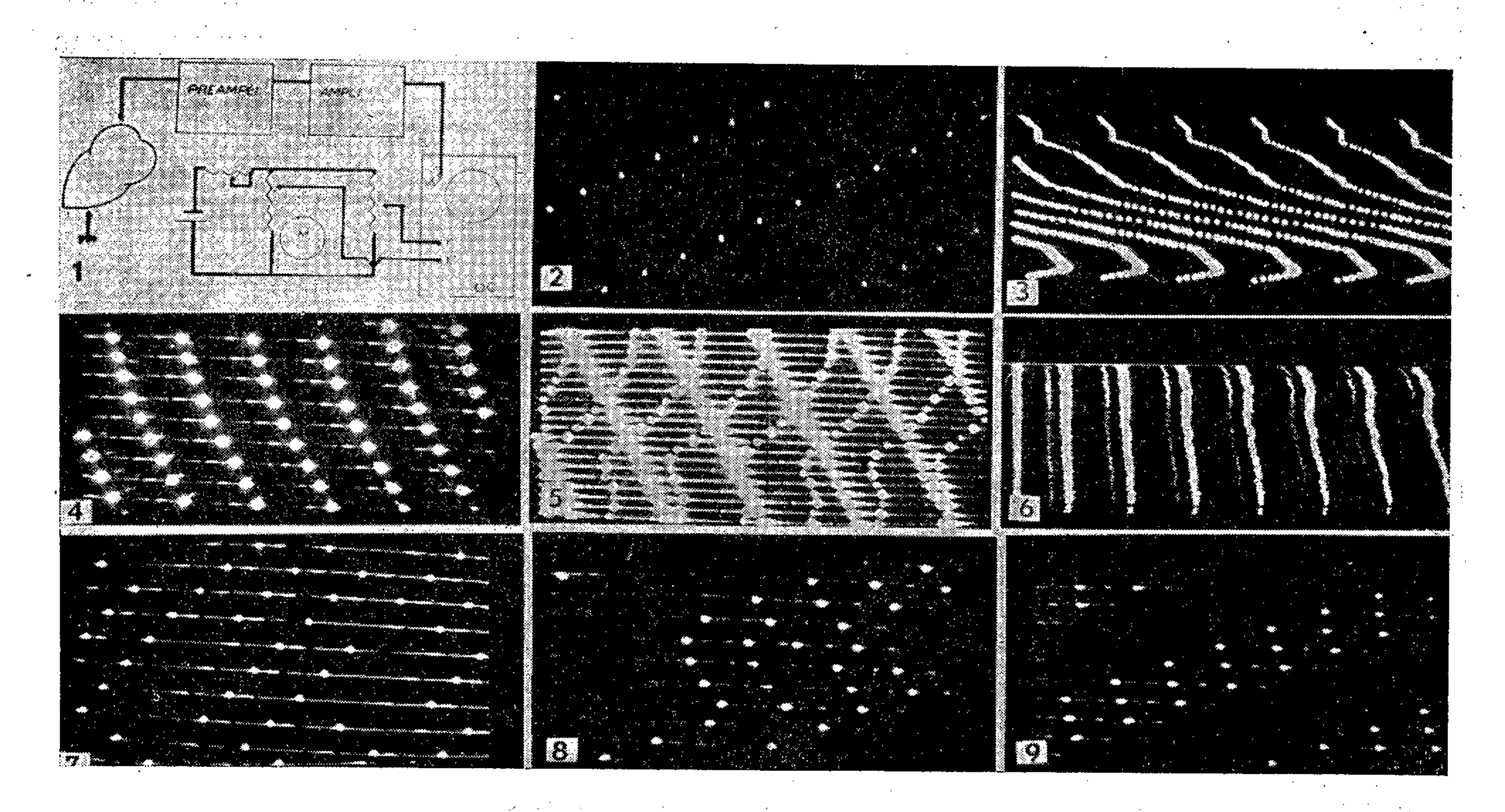
L'appareillage est schématisé sur la figure 1, le balayage vertical est obtenu par un moteur très lent (1/2 ou 1/30e t/mn) qui agit sur le curseur d'un potentiomètre.

Résultats. — Nous examinerons quelques types de réseaux obtenus sur le cœur de Grenouille décérébrée.

1° Le réseau de la figure 2 est apparemment régulier, mais les mesures effectuées sur la photographie révèlent un ralentissement progressif. La durée du cycle n'augmente que de 6 %.

2° Enregistrement pendant 20 mn. Ralentissement puis accélération (*fig.* 3). Calculée depuis le début de l'enregistrement jusqu'à un instant quelconque de ce dernier, la durée moyenne du cycle varie au maximum de 0,66 %. La durée moyenne de six cycles consécutifs ne varie que de 5 %.

3° Ralentissement progressif (*fig.* 4). Durée moyenne du cycle : 1,72 s. Les rangées denses presque verticales sont légèrement concaves en haut et à droite. L'augmentation de la durée de chaque cycle n'est que de 2 %. Une accélération du rythme aurait donné une concavité en sens inverse.



4° Enregistrement simultané d'un réseau étalon et du rythme cardiaque (*fig.* 5). Le réseau étalon formé de taches allongées est fourni par un stimulateur électronique réglé sur la fréquence d'un cycle par seconde. Sa régularité permet d'éliminer une mauvaise stabilité de la base de temps de l'oscillographe cathodique. Il serait préférable d'utiliser pour ce contrôle un dispositif qui ne soit pas, comme l'oscillographe, influencé par le secteur d'alimentation électrique. Le réseau cardiaque est formé de taches arrondies. Les plus grandes proviennent de R, mais on distingue également P et T. RT étant ici égal à TR, T et R s'alignent sur les mêmes rangées.

5° Synchronisation de l'oscillographe par le rythme cardiaque, montage en « déclencher externe » (*fig.* 6). Les rangées verticales présentent de petites irrégularités imputables au déclencher. L'obliquité de la dernière rangée de droite traduit un ralentissement cardiaque régulier.

6° Bloc auriculo-ventriculaire (*fig.* 7). Le réseau est régulier mais présente des lacunes. L'absence de complexes ventriculaires ne retentit pas sur le rythme. La répartition des lacunes n'est pas quelconque. De ces données on peut conclure qu'il s'agit d'un bloc intermittent avec tendance à la périodicité.

7° Apparition d'un rythme alternant. Sur la figure 9 on a des périodes de trois cycles cardiaques, les deux premiers sont brefs et sensiblement égaux, le troisième est long sensiblement supérieur à quatre cycles brefs. La figure 8 montre le stade antérieur, la période multiple est variable, la durée des cycles brefs évolue indépendamment de la durée des cycles longs.

Discussion. — Cette technique met en œuvre des moyens simples et présente une grande souplesse. Sa précision dépend de la stabilité du balayage vertical, c'est-à-dire de la base de temps de l'oscillographe, mais le cas échéant il est possible d'utiliser un autre système chronographique. La même technique peut servir au contrôle de la base de temps des oscillographes cathodiques.

Il n'est pas toujours possible de disposer d'un chronographe aussi absolu qu'on le désirerait, mais si à l'aide d'un signal périodique indépendant on obtient un réseau régulier on peut admettre, comme extrêmement probable, à la fois la stabilité de la fréquence du signal et de celle du balayage. Il faut cependant éviter une synchronisation par transmodulation parasite. Un tel artefact apparaîtrait d'ailleurs sur le réseau par l'existence de rangées denses verticales.

(*) Séance du 5 septembre 1960.

(1) E. J. Marey, *Physiologie médicale de la circulation du sang*, A. Delahaye, Paris, 1863.
(2) E. J. Marey, *Comptes rendus*, 82, 1876, p. 975.
(3) A. D. Waller, *J. Physiol.*, 8, 1887, p. 228-234.
(4) W. Einthoven, *Pflüger's Arch.*, 99, 1903, p. 472-480.
(5) A. Fleisch, *Z. exp. Med.*, 72, 1930, p. 384.
(6) A. Djourno, *Paris Médical*, 32, 1938, p. 181-182.
(7) H. Odier, *J. Physiol.*, 44, 1952, p. 709.
(8) Penaz, *Scripta medica*, 33, 1960, p. 1-6.

(*Laboratoire de Physiologie générale, Sorbonne, Paris.*)

PHYSIOLOGIE CARDIAQUE. — *Existence d'un automatisme contractile dans le ventricule du cœur branchial de* Myxine glutinosa *L.* Note de M. **Boris Rybak**, présentée par M. Léon Binet.

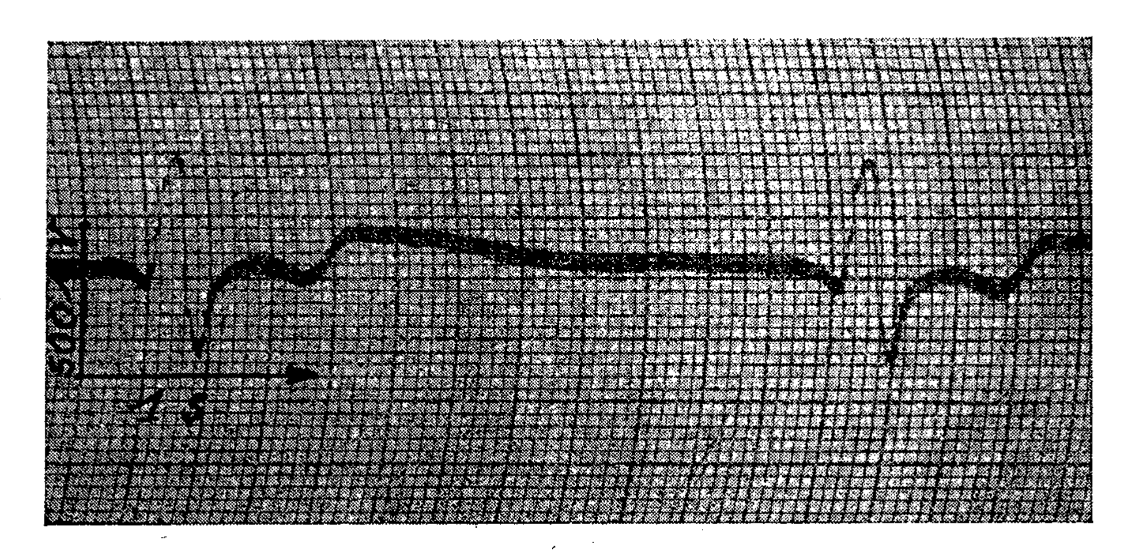
Tout fragment d'oreillette du cœur branchial totalement aneural [1] de *Myxine glutinosa* est capable de contractions automatiques [2], ce qui indique que dans un tel système myocardique les processus automatogènes et contractiles sont juxtaposés intimement si ce n'est confondus. Si l'on cherche à définir par des transsections auriculaires systématiques quelle est la plus petite quantité nécessaire et suffisante d'oreillette attenante au ventricule permettant d'induire la contraction périodique de ce ventricule, on s'aperçoit qu'aucune portion auriculaire n'est utile et qu'en définitive un fragment quelconque de ventricule est capable de poursuivre des mouvements réguliers pendant une durée qui peut atteindre 20 h à 18° C, surtout si ce fragment ventriculaire est soumis à une traction à l'aide de l'extensomètre décrit antérieurement [3] et, par exemple, à l'aide de charges de l'ordre de 2×1g disposées à l'opposé l'une de l'autre.

Les trains de potentiels émis par un écusson ventriculaire n'intéressant que la moitié apicale de cette entité cardiaque sont du type représenté par le tracé ci-contre où l'on reconnaît une déflexion R et une déflexion T (dérivation bipolaire de contact épiventriculaire à l'aide d'électrodes-pinceaux; $\theta \neq 20°$ C).

Cet automatisme contractile se manifeste autant avec un ventricule seulement séparé de l'oreillette qu'avec un ventricule isolé et ouvert sagittalement; de plus même si le ventricule ou un fragment ventriculaire n'est pas soumis à une tension mécanique et qu'il plonge librement dans le milieu de survie constitué par de l'eau de mer de fond diluée aux 2/3 [4], il montre des mouvements prolongés (durée minimale : 5 h), ce qui indique que ces mouvements périodiques ne sont pas la conséquence d'une stimulation passagère d'ordre traumatique. Le rythme idio-ventriculaire à l'état pur est inférieur au rythme auriculaire; ainsi s'il est de 36 c/mn pour l'oreillette, il est de 18-20 c/mn pour le ventricule, soit pratiquement la moitié.

Cet automatisme contractile ventriculaire peut être mis en évidence non seulement par voie chirurgicale mais encore par voie biochimique. Notons tout d'abord que la narcose induite par le gaz carbonique se manifeste en premier lieu dans l'oreillette, le ventricule ne cessant ses mouvements que plus tardivement. Par ailleurs aux doses de 2-désoxyglucose qui, normalement, arrêtent les mouvements auriculaires (par exemple 500 μg/ml pour un cœur étalé ouvert sous tension), le ventricule poursuit ses contractions et il faut des doses de l'ordre de 1,5 mg/ml pour obtenir une diminution considérable des mouvements ventriculaires voire leur dispa-

rition, encore que celle-ci — sans doute par suite de l'épaisseur de la masse ventriculaire qui restreint l'accession des molécules — ne soit, semble-t-il, jamais totale. En effet, de même que par l'analyse des mouvements auriculaires à l'aide de 2-désoxyglucose à 500 μg/ml on peut se convaincre, sur une préparation tendue, qu'il existe une zone automatogène privilégiée où la durée des contractions est maximale qui est située dans la zone valvulaire sino-auriculaire et plus précisément encore à la base commissurale de ces valves comme il en va chez les Poissons ([5]), de même il semble que la zone ventriculaire préaortique se comporte comme *ultimum moriens* sur une préparation ventriculaire isolée et subtotale observée en cours de vieillissement ou sous l'effet de 2-désoxyglucose à 1,5 mg/ml. Toutefois soulignons que l'apex ventriculaire isolé est aussi capable de contractions régulières prolongées, de même qu'une moitié ventriculaire n'intéressant pas la zone préaortique. De sorte que s'il existe des zones automatiques privilégiées auriculaires et ventriculaires, elles ne s'avèrent pas indispen-



sables à l'automatisme contractile durable de toute entité auriculaire ou ventriculaire.

L'existence d'un automatisme ventriculaire chez la Myxine, qui représente le seul cas connu d'automatisme ventriculaire prolongé chez les Vertébrés adultes, pose au moins deux types de problèmes :

1° celui des conditions biochimiques de cet automatisme. En effet il a été montré ([6]) que le taux de glycogène et celui d'acide lactique sont en gros trois fois plus importants dans le ventricule que dans l'oreillette quoique la consommation apparente d'oxygène soit nettement moins forte dans le ventricule que dans l'oreillette. Comme le ventricule est pigmenté en rouge tandis que l'oreillette est seulement jaunâtre, on peut penser que les abondants pigments respiratoires ventriculaires assurent une oxygénation suffisante pour permettre un cycle Pasteur-Meyerhof ventriculaire proportionnel au cycle Pasteur-Meyerhof auriculaire et que c'est seulement par suite de l'épaisseur du ventricule non tendu que la consommation d'oxygène y apparaît moins importante. On peut considérer que la traction exercée sur le ventricule augmente la surface d'échange des fibres musculaires, ce qui pourrait expliquer, partiellement au moins, l'action favorisante de la traction sur le maintien de l'automatisme contractile;

2° celui de l'automatisme contractile du ventricule qui n'indique pas que celui-ci soit autonome, c'est-à-dire que sa contraction soit indépendante de celle de l'oreillette adjacente. Au contraire l'ordre de succession des contractions a toujours lieu dans le sens oreillette-ventricule et l'observation en place des valves auriculo-ventriculaires selon le procédé des sections coniques ventriculaires (7) indique bien que l'ouverture de ces valves est contemporaine de la systole auriculaire et leur fermeture de la systole ventriculaire et il est en conséquence peu probable que la circulation sanguine intracardiaque puisse devenir indifférente quant à sa direction : elle doit constamment rester dirigée vers l'aorte. Par contre, on peut considérer que si, pour une raison ou une autre, l'oreillette cessait ses mouvements rythmiques, la présence d'un mécanisme autocontractile ventriculaire permettrait de suppléer à cette déficience et assurerait ainsi la circulation sanguine branchiale.

(1) K. B. Augustinson, R. Fänge, A. Johnels et E. Östlund, *J. Physiol.*, London, 131, n° 2, 1955, p. 257.
(2) B. Rybak, *J. Physiol.*, 51, n° 4, 1959, p. 631.
(3) B. Rybak, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3391.
(4) J. J. Young, *Pubbl. Staz. zool. Napoli*, 12, 1932, p. 425.
(5) J. Ripplinger, *Ann. scient. Univ. Besançon*, 5, 1950, p. 45.
(6) B. Rybak et P. Boivinet, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2231.
(7) B. Rybak, *C. R. Soc. Biol.* (sous presse).

(*Kristinebergs Zoologiska Station, Fiskebäckskil, Suède et Zoophysiologie, Faculté des Sciences, Caen.*)

NEUROLOGIE. — *Mise en évidence d'un « Centre hypnique » au niveau du rhombencéphale chez le Chat.* Note de MM. **Michel Jouvet** et **François Michel**, transmise par M. Henri Hermann.

Par des expériences de sections étagées du tronc cérébral et de coagulations électives de la formation réticulée pontique, on démontre que les périodes d'activité électrique rapide corticale observée au cours du sommeil physiologique chez le Chat dépendent de la mise en jeu de structures nerveuses situées au niveau de la partie médiane du tegmentum pontique.

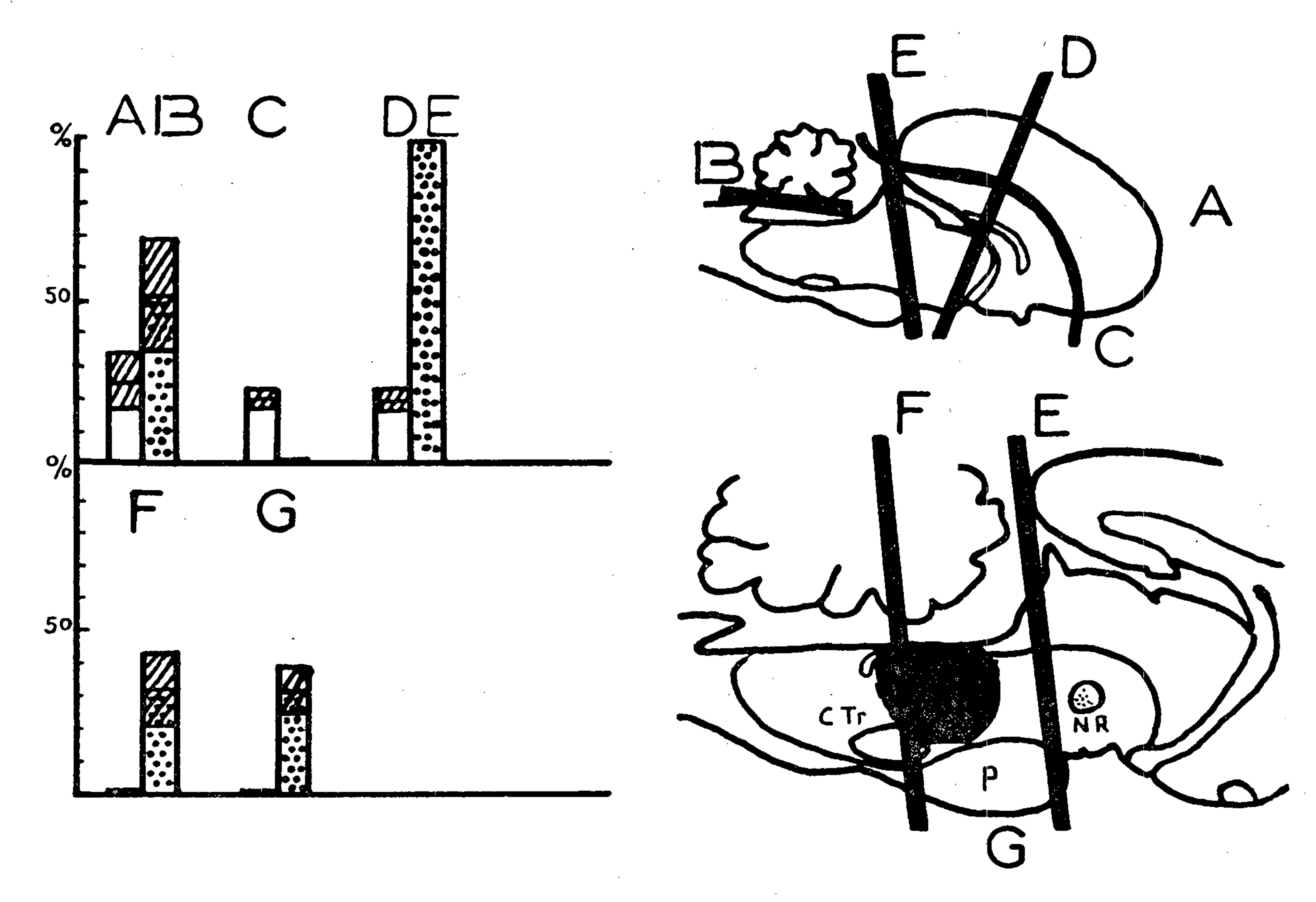
Au cours du sommeil physiologique chez le Chat, apparaissent périodiquement, 2 à 3 fois par heure, des phases d'activité rapide corticale ([1]) [ou « phase paradoxale » ([2])] d'une durée de 10 à 15 mn, qui s'accompagnent d'une activité rythmique lente au niveau de la formation réticulée (F. R.) pontique, d'une disparition totale du tonus musculaire, de mouvements rapides des yeux, de variations cardio-respiratoires et d'une augmentation importante du seuil d'éveil par stimulation de la F. R. mésencéphalique ([3]). Les structures nerveuses responsables du déclenchement de cette phase ont été précisées de la façon suivante :

Sur 54 chats chroniques (12 chats intacts, 11 décortiqués totaux ou partiels, 20 porteurs de section totale ou subtotale du tronc cérébral, 9 porteurs de coagulation limitée du tronc, 2 ayant subi l'ablation totale du cervelet), porteurs d'électrodes corticales et sous-corticales, l'activité électrique cérébrale a été étudiée quotidiennement au cours du sommeil physiologique pendant au moins une semaine. En même temps que l'E. E. G., l'électromyogramme (E. M. G.) des muscles de la nuque, les mouvements des yeux et les rythmes cardiaques et respiratoires étaient enregistrés.

Les résultats ([2]) montrent que l'ablation totale du néo-cortex, du cervelet ([4]), ou des sections étagées du tronc cérébral en avant du pont n'empêchent pas la survenue périodique des phénomènes E. E. G. pontiques et somato-végétatifs caractéristiques de la phase rapide du sommeil (*fig.*). Celle-ci continue à survenir pendant 20 % du temps d'enregistrement, proportion comparable à celle de l'animal intact. Par contre une section du tronc à la partie postérieure du pont (entre le pont et les corps trapézoïdes) supprime totalement la disparition périodique du tonus musculaire, et les variations cardio-respiratoires qui l'accompagnent. L'activité corticale, en avant de la section, est le plus souvent rapide, mais des périodes d'ondes lentes et de fuseaux surviennent pendant 30 à 40 % du temps d'enregistrement.

Ces résultats conduisent ainsi à rendre responsables les formations pontiques de la phase paradoxale. La preuve formelle en est apportée

par la coagulation élective de la F. R. pontique (noyau *pontis oralis*, noyau *pontis caudalis* et noyau *centralis superior* de Betcherew). Une telle lésion a entraîné chez quatre animaux la disparition totale des phases d'activité rapide et d'extinction du tonus musculaire au cours du sommeil (*fig.*). Ces animaux ne présentaient que la phase d'ondes lentes du sommeil, et restaient capables d'une activité rapide corticale au cours



Représentation schématique du cycle veille-sommeil chez le Chat intact (A), cerebellectomisé (B), décortiqué (C), mésencéphalique (D), pontique (E), retropontique (F) et chez le Chat porteur de lésion médiane de la F. R. pontique (G).

A gauche, pourcentage (pour 12 h d'enregistrement continu) des périodes de sommeil avec ondes lentes et fuseaux (pointillé), ou des périodes d'activité rapide corticale et d'extinction musculaire (en blanc).

Chaque catégorie représente la moyenne de 16 enregistrements sur quatre chats. Les hachures indiquent la déviation standard.

On remarque l'absence d'activité lente en C, et l'absence du sommeil « rapide » en F et G.

Chez le Chat mésencéphalique ou pontique (D-E), la phase rhombencéphalique du sommeil n'induit pas d'activité rapide corticale. Elle est repérée par les phénomènes E. E. G. pontiques et les variations E. M. G. et cardio-respiratoires.

N. R., noyau rouge; P, pont; C. Tr., corps trapézoïde.

de l'éveil spontané ou provoqué. Chez trois autres animaux, dont les lésions plus antérieures épargnaient la partie postérieure du noyau *pontis caudalis*, les phases paradoxales réapparurent au cours du sommeil respectivement les 5e, 6e et 8e jours, mais leurs durées étaient très brèves (1 à 2 mn). Des lésions de contrôle de la partie dorsale du pont et des lésions de la F. R. mésencéphalique n'ont entraîné aucun changement dans l'apparition des phases d'activité rapide au cours du sommeil.

Ces faits démontrent ainsi qu'au niveau de la F. R. pontique se trouvent des structures nerveuses dont la mise en jeu périodique, au cours du sommeil comportemental, sous l'influence d'une cause encore inconnue, est responsable à la fois de l'activité rapide corticale [par des voies différentes du système réticulaire activateur ascendant ([4])] de la disparition totale du tonus musculaire et des variations cardio-respiratoires. Pour ces raisons, nous proposons de donner à la phase d'activité rapide au cours du sommeil physiologique le nom de *phase rhombencéphalique* du sommeil.

([1]) W. DEMENT, *E. E. G. Clin. Neurophysiol.*, 10, 1958, p. 291-296.
([2]) M. JOUVET, F. MICHEL et J. COURJON, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3043.
([3]) M. JOUVET, F. MICHEL et J. COURJON, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 1024-1028.
([4]) M. JOUVET et F. MICHEL, *J. Physiol.*, 52, 1960, p. 130-131.

NEUROPHYSIOLOGIE. — *Dualité des réponses du centre médian à la stimulation visuelle.* Note de Mme **Denise Albe-Fessard** et M. **Alberto Mallart**, transmise par M. Robert Courrier.

Albe-Fessard et Kruger [1] stimulant électriquement ou mécaniquement les téguments du Chat, ont montré l'existence de réponses à courte et à longue latence dans le centre médian du thalamus (CM). Ce noyau recevant aussi des afférences d'origine visuelle [2], nous avons examiné si celles-ci donnent également lieu à des réponses doubles. Pour cette étude, deux types de technique d'enregistrement ont été utilisés.

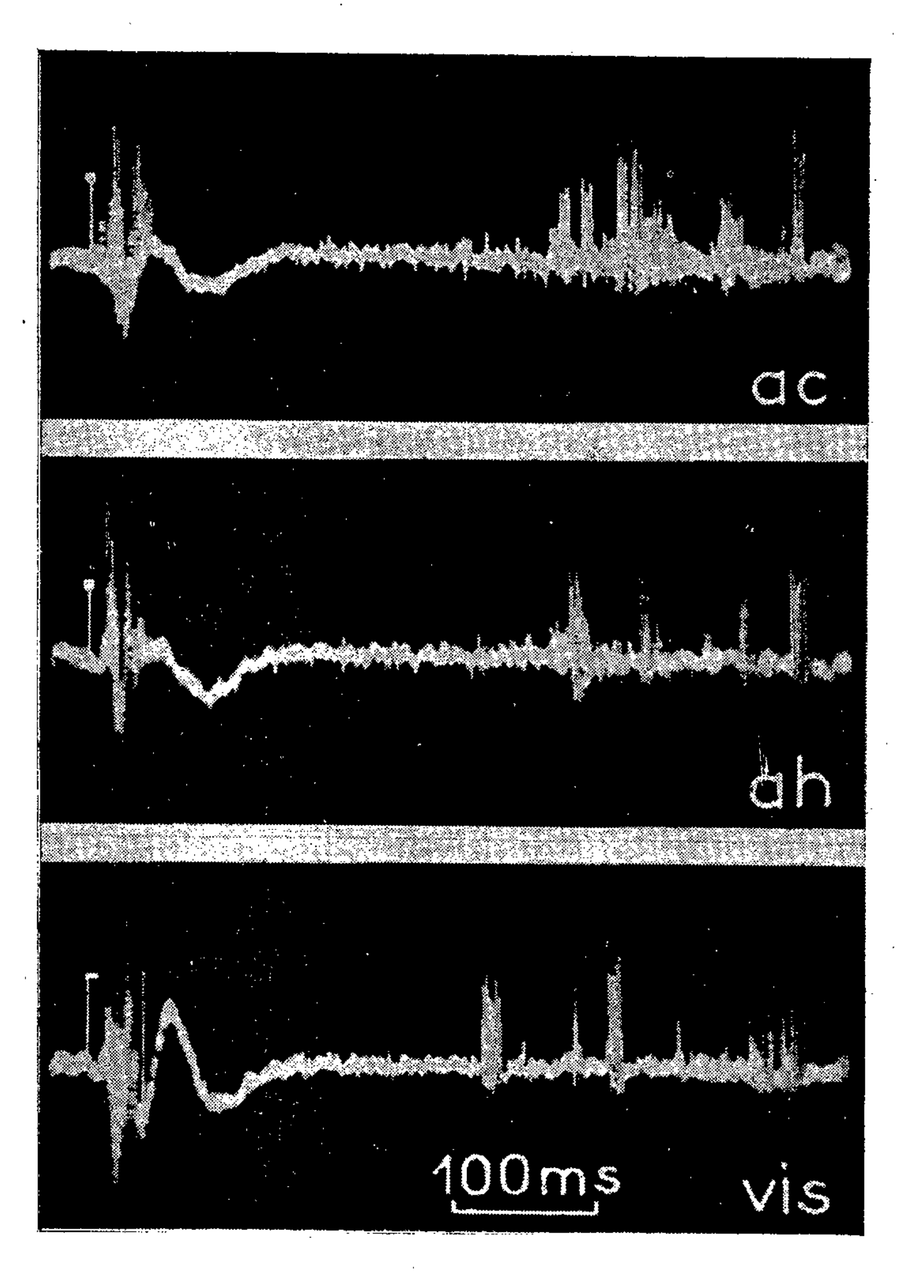


Fig. 1. — Dérivation dans le CM (A 7,5, L 3, + 1) des réponses à la stimulation électrique des membres antérieurs contra et homolatéraux (*ac*, *ah*), et à la stimulation de l'œil contralatéral par un éclair blanc durant 5 ms.
Électrodes métalliques bipolaires concentriques.

1° Le CM a été exploré à l'aide d'électrodes bipolaires concentriques fines (tube de 300 μ de diamètre extérieur, dans lequel est passé un fil isolé de 50 μ). La pointe affûtée constitue une électrode métallique très fine de quelques microns. On peut espérer dans ces conditions limiter à quelques neurones du CM le nombre des unités dont l'activité est captée par l'électrode.

De tels enregistrements, présentés dans la figure 1, permettent de voir que les stimulations visuelles, comme les stimulations somatiques, provoquent dans le CM, après un premier train d'activités bien groupées à courte latence, une série de réponses beaucoup plus dispersées dans le temps (entre 250 et 600 ms après la première réponse). S'agit-il là de la réponse à longue latence de plusieurs unités voisines ou observe-t-on, avec ce mode d'enregistrement, une reprise rythmique de l'activité après une phase d'inhibition post-réactionnelle de longue durée ?

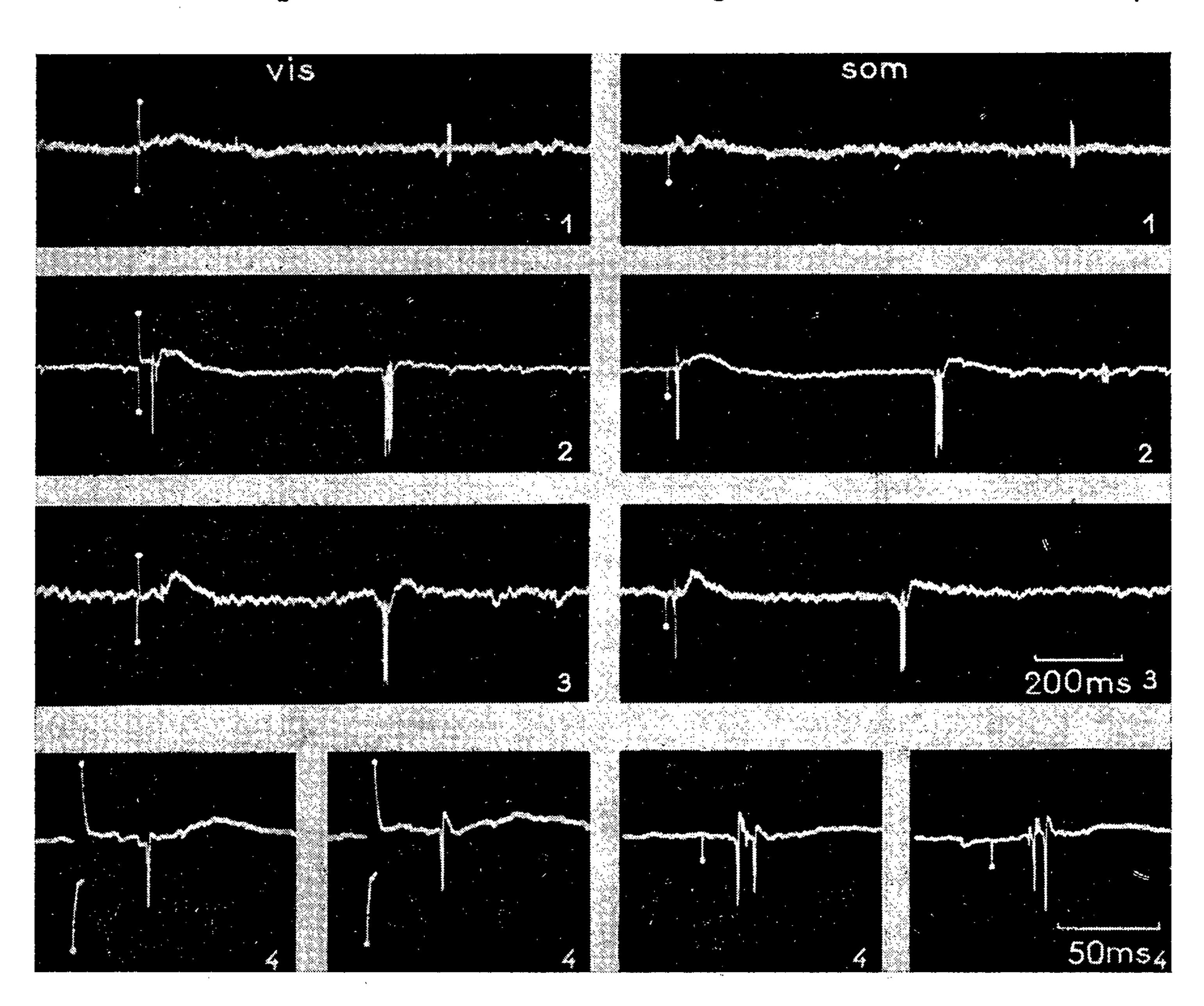


Fig. 2. — Dérivations dans la même région du CM. Stimulation électrique du membre antérieur contralatéral (som.), et stimulation visuelle (vis.). Microélectrodes de verre ultrafines permettant d'étudier isolément des unités. Pour les unités 1, 2, 3, réponses à courte et longue latence. En 4, réponses à courtes latences, présentées chacune deux fois, à vitesse plus rapide d'enregistrement.

2° Afin de voir si une même cellule était capable de répondre doublement aux deux types de modalités sensorielles, nous avons dérivé l'activité unitaire de ces cellules à l'aide de microélectrodes de verre (diamètre d'environ 0,5 μ, résistance de l'ordre de 15 MΩ) qui permettent d'étudier séparément cette fois chaque unité. Nous avons trouvé au cours de plusieurs descentes dans le noyau du CM un grand nombre d'unités qui répondaient à la fois à la stimulation somatique (choc électrique sur un membre) et à la stimulation visuelle naturelle, et qui, pour les deux modes de stimulation, présentaient la dualité de réponse.

La figure 2 montre pour quatre unités différentes les réponses ainsi enregistrées. Les trois premières présentent toutes une première réponse (onde lente donnant lieu ou non à un influx propagé) et une seconde réponse (toujours accompagnée de spikes). La quatrième ne montre qu'une réponse à courte latence que nous avons présentée à vitesse plus rapide afin que les latences aux deux modes de stimulation puissent être comparées.

L'existence d'une dualité de réponse est donc bien une propriété du CM mis en jeu par des stimulations sensorielles. Dans le cas de la somesthésie, Albe-Fessard et Kruger ont attribué cette dualité à l'existence de deux voies ascendantes distinctes, dont la seconde correspondrait à des messages plus lents et relayés de multiples fois. Il n'est pas interdit de penser que pour la vision, nous ayons affaire aussi à deux voies différentes aboutissant aux mêmes neurones.

Le fait que l'intervalle séparant les premières et deuxièmes réponses d'origine visuelle soit toujours systématiquement plus court que l'intervalle séparant les deux réponses d'origine somatique (*fig.* 1 et 2) fait penser en effet que la deuxième réponse est liée au stimulus même et n'est pas une simple propriété du cycle de récupération cellulaire. Cette phase de récupération n'aura pour effet que de limiter inférieurement la valeur de cet intervalle qui ne peut évidemment jamais descendre au-dessous de la durée du cycle de récupération (comprise, sous chloralose, entre 200 et 300 ms).

(1) D. Albe-Fessard et L. Kruger, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 299.
(2) D. Albe-Fessard et A. Mallart, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1040.

(*Centre d'Études de Physiologie nerveuse du C. N. R. S.*)

CHIMIE THÉORIQUE BIOLOGIQUE. — *Étude théorique du mécanisme des oxydations dans la phosphorylation.* Note de Mme **Andrée Goudot**, présentée par M. Louis de Broglie.

1. Phosphorylation dans la chaîne respiratoire. — Une réaction biologique endothermique est généralement couplée avec une réaction exothermique qui lui fournit l'énergie nécessaire. La réaction exothermique la plus souvent utilisée, *in vivo*, est la rupture d'une « liaison riche ». En général la liaison phosphate dans l'adénosine phosphate (ATP). L'ATP est ensuite reconstituée à l'aide de l'adénosine diphosphate et du phosphate inorganique ($P_i = PO_4H_3$).

Cette synthèse est réalisée dans les mitocondries où interviennent les agents oxydoréducteurs de la chaîne respiratoire. Ils sont de deux sortes : 1° les transporteurs d'hydrogène comme la diphosphopyridine nucléotide réduite ($DPNH_2$) et de la flavine adénine nucléotide FAD_2; 2° les cytochromes qui sont réducteurs ou oxydants selon que l'ion central soit ferreux ou ferrique. Les réactions de synthèse ATPase nécessitent également Mg^{2+}. Selon des expériences utilisant des inhibiteurs, il apparaît que la réaction de synthèse de l'ATP se fait en deux phases : 1° oxydation du DPN réduit, abolie en dehors de la chaîne respiratoire; 2° synthèse de l'ATP à l'intérieur d'un complexe de Mg^{2+} puisqu'elle est inhibée par la présence d'agents fortement coordinateurs dans la solution contenant en suspension des mitocondries fraîches de foie [1].

1° *Oxydation du DPN réduit.* — Dans une précédente Note [2] le calcul des charges a montré que l'oxygène moléculaire, cédé par l'oxyhémoglobine est dissocié en O^+ et O^- par le Fe^{3+} de la cytochrome oxydase. Il est admis que dans la chaîne respiratoire, la première réaction réalisée est l'oxydation par O^{--} du DPN réduit, qui est une réaction exothermique de 55 kc [3]. L'oxygène y est donc actif sous la forme O^{--}. Selon l'ordre établi pour la chaîne des cytochromes, à partir de la cytochrome oxydase, on peut en déduire que le premier ion oxygène libéré deviendra actif après les réactions d'oxydoréduction suivantes :

$$O^+ + \text{cyt}_a Fe^{2+} = O + \text{cyt}_a Fe^{3+} \quad \text{puis} \quad O + \text{cyt}_c Fe^{2+} = O^- + \text{cyt}_c Fe^{3+}$$
$$\text{puis} \quad O^- + \text{cyt}_b Fe^{2+} = O^{--} + \text{cyt}_b Fe^{3+}.$$

Le second ion oxygène libéré aurait un chemin plus court à parcourir $O^- + \text{cyt}_a Fe^{2+} = O^{--} + \text{cyt}_a Fe^{3+}$. Donc un des ions O^{--} agirait au niveau du cytochrome *b* alors que le second serait actif au niveau du cytochrome *a*. Chaque O^{--} pourrait alors participer à la réaction exothermique :

$$DNP_{\text{réduit}} + O^{--} = DNP_{\text{oxydé}} + HO^-.$$

2° *Synthèse de l'ATP.* — Si l'on calcule la répartition des charges dans le composé $Mg^{2+} — P_i$, on trouve pour P une charge positive de + 0,81 ainsi qu'une charge positive de + 0,32 sur un des atomes coordinateurs. Par contre, les autres atomes présentent une charge négative. Cette liaison dipositive doit être plus labile que les autres liaisons P—O.

D'autre part, si l'on calcule les niveaux d'énergie occupés par les électrons mobiles dans le complexe de transition, on a l'équilibre

$$ATP \overset{Mg^{2+}}{\rightleftharpoons} ADP + P\sim + 55\ kc.$$

Ce qui signifie que, dans ce complexe de transfert de charge, la différence d'énergie de résonance stabilise les molécules dissociées (ADP, phosphate), les électrons délocalisés pouvant occuper dans ces molécules des niveaux d'énergie plus bas que dans l'ATP. Pour opérer la synthèse de l'ATP à l'intérieur du complexe de transition, il faudra donc fournir de l'énergie aux électrons délocalisés dans ADP et le phosphate pour qu'ils soient promus aux niveaux plus élevés de l'ATP.

Si l'on suppose que l'oxydation du DNP réduit soit couplée avec la réaction de synthèse dans le complexe de transition, l'énergie libérée par l'oxydation pourra être utilisée pour la promotion des électrons π. On aura la réaction globale

$$\begin{array}{lcl} DPNH^{+} + O^{--} & = & DPN + HO^{-} + 55\ kc \\ P—OH^{+} + ADP + 55\ kc & = & + ATP + OH^{+} \\ \hline DPNH^{+} + O^{--} + P—OH^{+} & = & DPN + ATP + H_2O_2 \end{array}$$

l'eau oxygénée ainsi libérée est rapidement transformée par la catalase et la peroxydase. D'autre part, la chaîne des cytochromes se trouvant en liaison, non seulement avec le DPN, mais aussi avec $FADH_2$, on peut supposer que le système oxydoréducteur est ramené à l'état réduit par une réaction telle que

$$FADH_2 + 2\,cytFe^{3+} + DPN = FAD + 2\,cytFe^{2+} + 2\,DPNH^{+}.$$

Avec 2 mol $FADH_2$ les cytochromes se retrouveraient tous à l'état réduit.

2. Antagonisme entre Mg^{2+} et Ca^{2+} dans la phosphorylation au niveau du substrat. — Dans la formation d'une liaison carboxyl-phosphate, une molécule P_4 se lie à un groupement CO. La réaction est irréversible car la dissociation de la liaison carboxyl-phosphate donne CO_2 et P_3. C'est-à-dire que la formation du carboxyl-phosphate se fait entre C et un atome O du phosphate, alors que la dissociation du groupe carboxyl-phosphate provoque la rupture de la liaison entre le même atome O, qui reste lié à C, et P.

Mg^{2+}. — Le calcul des charges pour les atomes du complexe carboxyl-phosphate donne

C.	O_{CP}.	P.
+0,77	+0,42	+0,81

La charge positive de P est supérieure à celle de C, ce qui rend vraisemblable la rupture entre O et P.

D'autre part, si l'on calcule la différence entre les énergies de résonance de la molécule à liaison riche et des produits dissociés, elle est de 128 kc. Les niveaux d'énergie sont donc beaucoup plus bas dans les produits dissociés. Ce qui est en faveur de la dissociation dans le complexe activé par Mg^{2+}.

Ca^{2+}. — Le calcul des charges dans le complexe carboxyl-phosphate-Ca^{2+} contrairement à celui du complexe avec Mg^{2+} donne sur O_{CP} qui lie le C du carboxyl au P du phosphate, une charge négative

C.	O_{CP}.	P.
+0,75	−0,40	+0,78

La liaison devrait donc être stable à l'intérieur du complexe. Cependant si l'on fait le calcul des énergies de résonance à l'intérieur du complexe Ca^{2+} la différence d'énergie entre la molécule à liaison riche et les produits dissociés est de 40 kc (en faveur de la dissociation π). Il faudra donc, tout de même fournir 40 kc aux électrons délocalisés pour qu'ils occupent les niveaux d'énergie de la molécule carboxyl-phosphate à partir du CO et du phosphate. Si l'on couple la réaction de synthèse de la liaison carboxyl-phosphate avec celle de la rupture de la liaison phosphate de l'ATP, ou avec celle de l'oxydation du DNP réduit. On a pour l'oxydation du DNP réduit une libération d'énergie de 55 kc largement suffisante pour compenser les 40 kc.

D'autre part, la rupture de la liaison phosphate de l'ATP activée par Ca^{2+} donne un excès d'énergie de résonance de 51 kc, suffisant également à la promotion des électrons. Il semble donc que Ca^{2+} soit un activateur pour la synthèse d'une liaison carboxyl-phosphate alors que Mg^{2+}, s'il ne reçoit pas une énergie extérieure, soit un activateur de la dissociation de cette liaison.

Quand dans une molécule deux atomes voisins sont positifs, une dissociation de liaison π doit suffire à provoquer la rupture entre les deux atomes positifs. Réciproquement il faut fournir l'énergie nécessaire à la promotion des électrons π pour la synthèse.

(1) P. SIEKEVITZ, H. LÖW, L. ERNSTER et O. LINDBERG, *Bioph. Bioch. Acta*, 29, 1958, p. 378.

(2) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 722.

(3) A. L. LEHNINGER, *Rev. Mod. Phys.*, 31, 1959, p. 139.

PHARMACODYNAMIE. — *Sur les modifications de l'activité physiologique de la raubasine qui résultent de l'introduction d'un ou de deux méthoxyles dans la molécule de cet alcaloïde.* Note de M. **Raymond-Hamet**, présentée par M. Marcel Delépine.

Nous avons découvert en 1936 [1] l'activité sympathicolytique de la Delta-yohimbine qu'on considérait alors comme un stéréo-isomère de la yohimbine, et, en 1938 [2], celle de l'aricine qu'on rangeait dans le groupe des alcaloïdes des quinquinas, c'est-à-dire des bases quinolylquinuclidiques. Depuis lors, nous avons pu montrer : 1° que l'aricine est en réalité une base indolique [3]; 2° que la Delta-yohimbine appartient [4] à ce groupe nouveau d'alcaloïdes que nous avions dû créer [5] pour pouvoir y placer la mayumbine, base découverte par nous dans le *Pseudocinchona mayumbensis* (Good) Raymond-Hamet; 3° qu'un des alcaloïdes du *Rauwolfia serpentina* Bentham, la raubasine, dont la constitution était jusqu'alors totalement inconnue, pouvait être rapproché chimiquement de notre mayumbine [6].

Faisant suite à nos travaux dont ils ont confirmé les conclusions : 1° Goutarel et ses collaborateurs [7] ont établi la formule de constitution de l'aricine; 2° Goutarel et Le Hir [8], puis Janot, Goutarel et Massoneau [9] ont montré que la mayumbine et la Delta-yohimbine—provenant, l'une et l'autre, de nos collections — sont des stéréo-isomères de la tétrahydro-alstonine dont Elderfield et Gray [10] ont établi la formule de constitution; 3° Hofmann [11] — a mis en évidence l'identité de la raubasine et de la Delta-yohimbine.

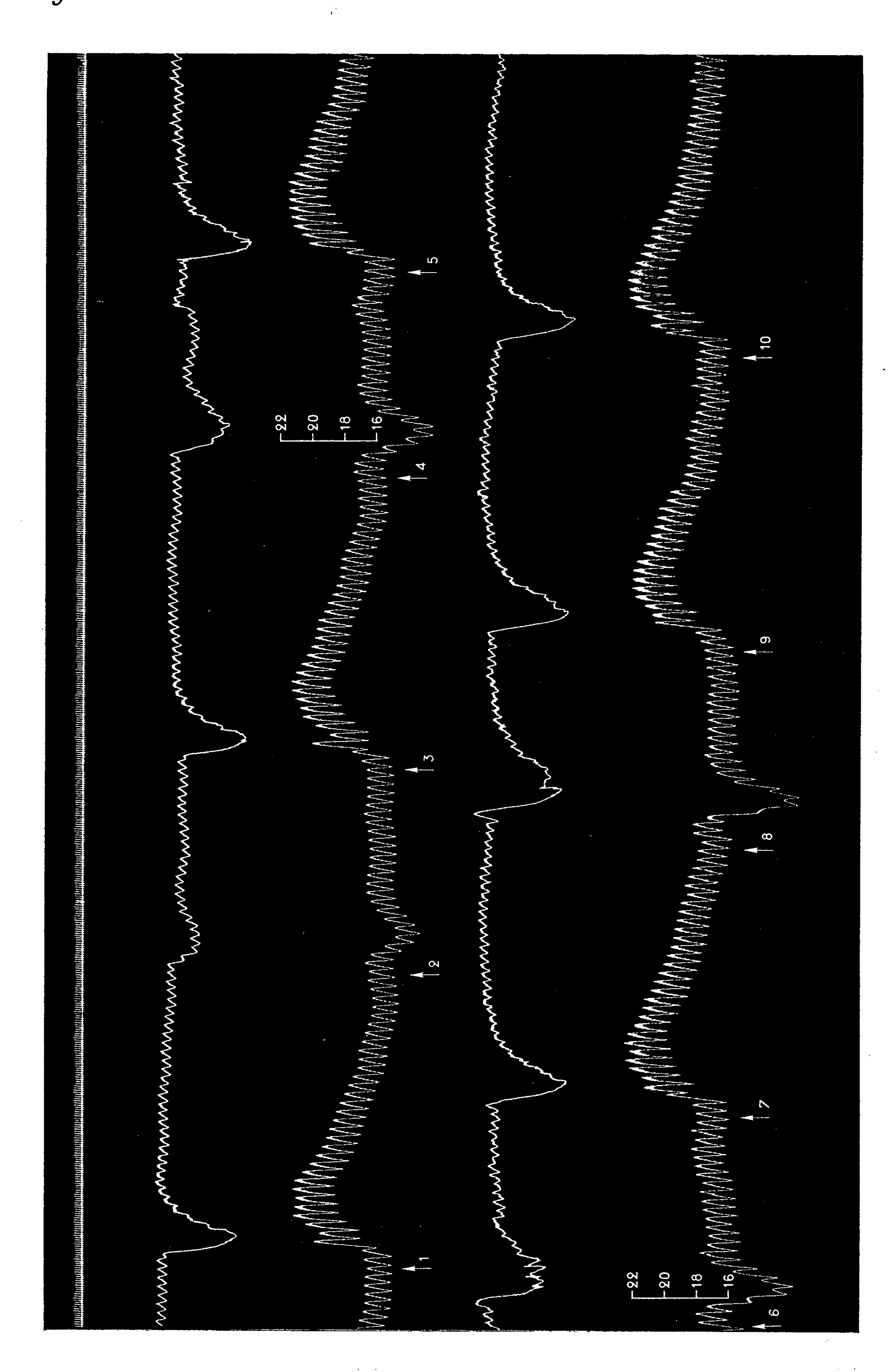
Raubasine

Aricine

Réserpinine

Réserpiline

De plus, de deux espèces de *Rauwolfia*, ont été isolés deux alcaloïdes nouveaux dont la formule de constitution a pu être établie par ceux-là même qui les avaient découverts; le premier extrait par Schlittler, Saner


1
2
3
4
5
22
20
18
16
6
7
8
9
10
22
20
18
16

LÉGENDE DE LA FIGURE.

Chien de 12 kg, anesthésié par le chloralose (12 cg/kg), bivagotomisé au cour et soumis à la respiration artificielle. 1re ligne : temps en secondes; 2e et 4e ligne : oncogramme; 3e et 5e lignes : tensiogramme carotidien. On a injecté dans la saphène, en 1, 3, 5, 7, 9 et 10, 0,008 mg de bitartrate d'adrénaline pure de Hochst; en 2, 12 mg; en 4, 24 mg; en 6, 48 mg; enfin en 8, 96 mg de bioxalate de réserpiline préparé par Hofmann lui-même. Tracé réduit de moitié.

et Muller ([12]) du *Rauwolfia serpentina* Bentham a reçu le nom de réserpinine, le second trouvé par Stoll, Hofmann et Brunner dans le *Rauwolfia canescens* L. ([13]) a été désigné sous celui de réserpiline.

Puisque leurs formules de constitution que nous donnons ici révèlent que l'aricine, la réserpinine et la réserpiline ne sont que des dérivés mono- ou di-méthoxylés de la raubasine, il importait d'être fixé sur leur activité sympathicolytique relative. Nos essais nous ont appris que la dose sympathicolytique par kilogramme de chien, telle que nous l'avons caractérisée ([14]), est de 2,35 mg pour la raubasine et déjà de 37,5 mg pour l'aricine. Après 52 mg/kg de réserpinine, les effets hypertenseurs de l'adrénaline sont très fortement réduits mais ne sont ni inversés, ni supprimés. Quant à la réserpiline, nous avons pu en administrer une dose de 15 mg/kg sans que l'hypertension et la vaso-constriction adrénaliniques soient même diminués. Dans le tracé qui illustre cette Note, cette hypertension qui était initialement de 47 mm Hg a été finalement de 44 mm Hg.

Il est donc démontré — ce qui est d'un grand intérêt pharmacodynamique — que l'activité sympathicolytique de la raubasine est fortement diminuée par l'introduction dans sa molécule, d'un méthoxyle en 10; qu'elle l'est davantage par celle d'un méthoxyle en 11, enfin qu'elle l'est encore plus fortement par celle de deux méthoxyles, l'un en 10, l'autre en 11.

(1) RAYMOND-HAMET, *C. R., Soc. Biol.*, 121, 1936, p. 1060.
(2) RAYMONL-HAMET, *Bull. Acad. Méd.*, 3e série, 120, 1938, p, 35.
(3) RAYMOND-HAMET, *Compte rendu*, 221, 1945, p. 307.
(4) RAYMOND-HAMET, *Compte rendu*, 232, 1951, p. 2354.
(5) RAYMOND-HAMET et R. GOUTAREL, *Compte rendu*, 233, 1951, p. 431.
(6) RAYMOND-HAMET, *Compte rendu*, 238, 1954, p. 1338.
(7) R. GOUTAREL, M.-M. JANOT, A. LE HIR, H. CORRODI et W. PRELOG, *Helvet. Chim. Acta*, 37, 1954, p. 1805.
(8) R. GOUTAREL et A. LE HIR, *Bull. Soc. chim.*, 18, 1951, p. 909.
(9) M.-M. JANOT, R. GOUTAREL et J. MASSONNEAU, *Compte rendu*, 234, 1952, p. 850.
(10) R. C. ELDERFIELD et A. P. GRAY, *Journ. of org. chem.*, 16, 1951. p. 506.
(11) A. HOFMANN, *Helvet. chim. Acta*, 37, 1954, p. 849.
(12) E. SCHLITTLER, H. SANER et J.-M. MULLER, *Experientia*, 10. 1954, p. 133.
(13) A. STOLL, A. HOFMANN et R. BRUNNER, *Helvet. chim. Acta*, 38, 1955' p. 270.
(14) RAYMOND-HAMET, *Détermination du groupement chimique responsable de l'activité sympathicolytique de la Yohimbine* (*Thèse Dr. Sc.*, Paris).

A 15 h 20 m l'Académie se forme en Comité secret.

COMITÉ SECRET.

Après discussion l'Académie adopte le texte d'un nouveau vœu concernant la protection du massif forestier de Fontainebleau; une délégation composée de MM. **Roger Heim**, **Jacques Tréfouël**, **Philibert Guinier** et **Maurice Fontaine** le présentera à M. le Premier Ministre.

Le texte de ce vœu sera publié ultérieurement.

La séance est levée à 15 h 50 m.

L. B.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 19 SEPTEMBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

L'Académie est informée :

— d'une **Conférence d'Hydraulique**, organisée par la Société hongroise d'Hydrologie et l'Institut de recherches des ressources hydrauliques, qui a eu lieu à Budapest du 5 au 10 septembre 1960, sous le patronage de l'Académie des sciences hongroise;

— du quatrième **Congrès international sur les algues marines**, qui aura lieu à Biarritz, du 18 au 25 septembre 1961.

Les Ouvrages suivants sont adressés en hommage à l'Académie :

— par M. **Gaston Julia**, le tome IV intitulé : *Équations aux dérivées partielles du premier ordre*, de ses *Exercices d'analyse*, rédigés par Georges Bourion;

— par M. **William Randolph Taylor**, un volume intitulé : *Marine algae of the Eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*.

L'Ouvrage suivant est présenté par M. **Louis de Broglie** :

La Chimie électronique, par Andrée Goudot.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Histochimie et cytochimie animales. Principes et méthodes*, par Lucien Lison. Volume I.

2° Collection de logique mathématique. XVI. *Introduction à la logique*, par Alfred Tarski. Traduit de l'anglais par Jacques Tremblay.

3° Mémorial des sciences physiques. LXVI. *Similitude physique. Exemples d'applications à la mécanique des fluides*, par André Martinot-Lagarde.

4° Ernst Bauer. *Elektronenbeugung. Theorie, Praxis und industrielle Anwendungen.*

5° *Catalogue of type invertebrate fossils of the geological Survey of Canada.* Volume I, by Thomas E. Bolton.

6° The U. S. Government and the future of international medical research. *Hearings before the subcommittee in reorganization and international organizations of the Committee on Government operations United States senate.* Eighty-sixth Congress. First session. *International health study.* July 9 and 16, 1959. Part I.

7° Accademia nazionale dei XL. Edoardo Zavattari e Coll. *Biogeografia delle Isole Pelagie. Climatologia.*

8° Ministerio de educacion y justicia. Direccion general de cultura (Buenos Aires). *Boletin del Museo Argentino de ciencias naturales « Bernardino Rivadavia » e Instituto nacional de investigacion de la ciencias naturales.* N° 1 à 19.

COMMISSIONS.

MM. **Léon Binet** et **François de Gaudart d'Allaines** sont désignés pour faire partie, avec les Secrétaires perpétuels, de la Commission du **Prix Osiris** de l'Institut, en 1960.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

BIOLOGIE. — *Sur les facteurs du déterminisme de la symétrie bilatérale et de l'orientation de l'axe tête-queue chez les Reptiles.* Note de M. **Paul Ancel**.

1° Quels sont les facteurs de la symétrie bilatérale ?

C'est la réponse à cette même question qu'ont donné Ancel et Vintemberger [1] en faisant choix d'un objet particulièrement favorable, la Grenouille rousse. Ces deux auteurs ont montré que l'apparition de la symétrie bilatérale est liée à celle du croissant gris et que le phénomène qui caractérise cette réalisation consiste en une rotation du cortex de l'œuf sur la masse centrale immobile. Ce phénomène est mis en évidence grâce à la présence du pigment cortical que la rotation entraîne sur une étendue de 30°. Cette rotation est ascendante du côté dorsal présomptif. Ces auteurs l'ont dénommée rotation de symétrisation. Elle peut être orientée dans l'espace par différents facteurs (spermatozoïde, compression de l'œuf qui l'ovalise et la rotation de l'œuf). Les deux auteurs ont nommé cette rotation : rotation d'orientation, pour la distinguer de la précédente.

A quelle conclusion la connaissance de ces faits peut-elle servir pour les œufs de Reptiles ?

La rotation de symétrisation n'a pu y être mise en évidence parce que l'œuf n'est pas pourvu d'un croissant pigmenté analogue au croissant gris de la Grenouille ou au croissant de même valeur et de même signification au point de vue de la symétrie bilatérale mais de couleur différente chez des Prochordés, des Amphibiens ou des Poissons et parce que même si les œufs de Reptile le possédaient, il faudrait encore pour les soumettre à des recherches expérimentales pouvoir réaliser des fécondations d'œufs prélevés vierges et que ces œufs fécondés puissent en outre être marqués comme les œufs de Grenouille rousse.

Il n'est donc possible de rechercher chez les Reptiles que les facteurs démontrés capables d'orienter le plan de symétrie bilatérale.

Les recherches faites sur les Vertébrés inférieurs ont fourni des tests de l'action des trois facteurs possibles d'orientation. Ces tests permettent à l'observateur des œufs cheminant dans les voies génitales de reconnaître l'action dans chaque cas particulier du spermatozoïde et des deux facteurs mécaniques compression et rotation de l'œuf.

L'action du spermatozoïde se signale par le fait que le point d'entrée du spermatozoïde marqué par l'extrémité initiale de la traînée sperma-

tique est situé dans le plan de symétrie bilatérale et au milieu du futur côté ventral.

Pour l'œuf ovalisé, le plan de symétrie est dans le petit axe de l'œuf et pour la rotation de l'œuf le plan de symétrie se confond avec le plan de rotation. Il est ainsi possible de voir quel facteur a orienté ce plan et dans le cas où plusieurs de ces facteurs ont agi sur l'orientation du plan de symétrie de savoir si l'un d'entre eux a eu une action prédominante.

Clavert et Zahn [2] ont émis l'hypothèse que le plan de symétrie bilatérale chez les Reptiles était orienté par la rotation de l'œuf qu'ils n'avaient pas observée et sans tenir compte de l'ovalisation de l'œuf existante puisqu'ils reconnaissent même à certains œufs un gros bout et un petit bout.

Pasteels [3] a observé que les œufs de deux Lacertiliens étaient ovales, mais n'a pas tenu compte de ce fait et émis l'hypothèse que l'orientation du plan de symétrie bilatérale était due à une rotation de l'œuf qu'il n'avait d'ailleurs pas observée.

Les observations de Raynaud et Ancel [4] sur l'Orvet ont montré que les œufs étaient ovalisés et leur rotation dans l'utérus ayant été constatée, on peut conclure que la compression et la rotation de l'œuf peuvent agir toutes deux sur l'orientation du plan de symétrie. Ces deux facteurs ont dans ce cas une action identique qui consiste à orienter le plan de symétrie dans le plan perpendiculaire au grand axe de l'utérus. Ces deux facteurs paraissent agir dans 80 % des cas. L'action du spermatozoïde n'a pu être démontrée, les œufs d'Orvet n'ayant pas de traînée spermatique visible.

2° Quels sont les facteurs de l'orientation de l'axe tête-queue ?

Les expériences d'Ancel et Vintemberger sur l'œuf de Grenouille rousse ont démontré que la rotation d'orientation effectuée avant la première division de l'œuf orientait non seulement le plan de symétrie bilatérale mais aussi l'axe tête-queue.

Cette question de l'orientation de l'axe tête-queue n'a pas été envisagée par les auteurs qui ont recherché les facteurs d'orientation du plan de symétrie bilatérale.

Les observations de Raynaud et Ancel sont d'accord avec celles d'Ancel et Vintemberger en ce sens que la rotation que subissent les œufs d'Anguis est de même sens pour tous les œufs renfermés dans les deux cornes utérines. Ces auteurs ont en effet trouvé que quand l'axe tête queue est orienté perpendiculairement au grand axe de l'utérus (80 % des cas) la tête est située du même côté.

(1) P. Ancel et P. Vintemberger, *Bull. biol. Fr. et Belg.*, Supp. XXXI, 1948.
(2) J. Clavert et J. Zahnd, *C. R. soc. Biol.*, 149, 1955, p. 1650.
(3) J. Pasteels, *Arch. Anat. hist. et Embryol.*, 37, 1954, p. 125.
(4) A. Raynaud et P. Ancel, *Comptes rendus*, 25, 1960, p. 615.

(Laboratoire d'Embryologie du Collège de France.)

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES DE L'ACADÉMIE.

ALGÈBRE. — *Sur la plus fine équivalence simplifiable d'un demi-groupe.*

Note de M. **Pierre Lefebvre**, transmise par M. Joseph Pérès.

Construction de la plus fine équivalence simplifiable d'un côté dans un demi-groupe quelconque. Elle est régulière de l'autre côté. Construction de la plus fine équivalence simplifiable. Caractérisation des demi-groupes inversés et rectangulaires par leurs équivalences simplifiables.

1. Soit D un demi-groupe. Une relation R définie dans D est simplifiable à droite si $ax\mathrm{R}bx$ entraîne $a\mathrm{R}b$; elle est simplifiable si elle l'est à gauche et à droite. Dans le treillis complet T des équivalences de D, les ensembles $\mathcal{E}_d$, $\mathcal{E}_g$, $\mathcal{E}$ des équivalences simplifiables à droite, à gauche ou bilatères, sont des familles de Moore ([1]), donc des treillis complets ayant pour élément universel commun celui de T, qui est l'équivalence universelle.

Dans un semi-groupe, $\mathcal{E}_d$, $\mathcal{E}_g$ et $\mathcal{E}$ ont pour élément nul l'élément nul de T, c'est-à-dire l'égalité. Nous donnons une construction de cet élément, en général distinct pour chacun des trois ensembles $\mathcal{E}_d$, $\mathcal{E}_g$ et $\mathcal{E}$, dans un demi-groupe quelconque. Chemin faisant, nous mettons en évidence une généralisation intéressante de la notion de semi-groupe : celle de demi-groupe stationnaire ([3]), ([4]) que nous relions à celle de demi-groupe inversé et rectangulaire ([4]) par une propriété des équivalences simplifiables, comme les semi-groupes sont reliés aux groupes ([5]).

2. *Construction de σ_d, élément nul de $\mathcal{E}_d$.* — *a*. La relation σ_1, définie dans D par $a\sigma_1 b \Leftrightarrow \exists x \in \mathrm{D}$ tel que $ax = bx$, est réflexive, symétrique, simplifiable à droite et régulière à gauche ([6]). Si ρ est une relation réflexive et simplifiable à droite de D, on a $\sigma_1 \subseteq \rho$. Lorsque σ_1 est transitive, nous avons donc $\sigma_1 = \sigma_d$.

En particulier, σ_1 est transitive dans les trois cas suivants :

α. dans un demi-groupe commutatif : il est alors immédiat que σ_1 est la plus fine équivalence régulière et simplifiable de D; D/σ_1 est le plus grand semi-groupe homomorphe à D;

β. dans un demi-groupe stationnaire à gauche, c'est-à-dire tel que $\exists x_1 \in \mathrm{D}$ tel que $ax_1 = bx_1$ entraîne $\forall x \in \mathrm{D}$, $ax = bx$ ([4]);

γ. dans un demi-groupe réversible à gauche, c'est-à-dire tel que deux éléments quelconques aient un multiple commun à droite ([1]).

b. La relation σ_2, fermeture transitive de σ_1, définie par $a\sigma_2 b$ si et seulement si $\exists m_1, m_2, \ldots, m_n \in \mathrm{D}$ tels que $a\sigma_1 m_1$, $m_1\sigma_1 m_2$, $\ldots$, $m_n\sigma_1 b$

est une équivalence régulière à gauche, mais qui n'est pas en général simplifiable à droite. Si ρ_1 est une équivalence simplifiable à droite, on a $\sigma_1 \subseteq \sigma_2 \subseteq \rho_1$.

c. La relation σ_3, définie dans D par $a\sigma_3 b \Leftrightarrow a\sigma_2 b$ ou $\exists x \in D$ tel que $ax\sigma_2 bx$ est réflexive, symétrique, simplifiable à droite et régulière à gauche. Si ρ_1 est une équivalence simplifiable à droite, on a $\sigma_1 \subseteq \sigma_2 \subseteq \sigma_3 \subseteq \rho_1$.

Nous définissons alors par récurrence une suite croissante (S) de relations σ_i :

$$(S) \qquad \sigma_1 \subseteq \sigma_2 \subseteq \sigma_3 \subseteq \ldots \subseteq \sigma_i \subseteq \sigma_{i+1} \subseteq \ldots,$$

réflexives, symétriques et régulières à gauche, celles d'indice impair étant simplifiables à droite, celles d'indice pair étant transitives, chaque relation étant contenue dans toute équivalence simplifiable à droite.

Pour cela, les relations σ_i étant supposées définies jusqu'à $i = 2p - 1$ avec les propriétés précédentes, σ_{2p} est définie comme fermeture transitive de σ_{2p-1} et σ_{2p+1} par $a\sigma_{2p+1} b \Leftrightarrow a\sigma_{2p} b$ ou $\exists x \in D$ tel que $ax\sigma_{2p} bx$.

Si l'on pose $a\sigma_d b$ s'il existe un entier positif n tel que $a\sigma_n b$, $\sigma_n \in (S)$, on démontre facilement que σ_d est l'équivalence simplifiable à droite minimale de D. Les relations σ_i étant régulières à gauche, la proposition suivante est immédiate :

Théorème 1. — *Dans un demi-groupe, la plus fine équivalence simplifiable d'un côté est régulière de l'autre côté.*

3. *Construction de τ, élément nul de $\mathcal{E}$.* — *a*. La relation τ_1 définie dans D par $a\tau_1 b \Leftrightarrow \exists\, x,\ y \in D$ tels que $xay = xby$ est réflexive, symétrique et simplifiable. Si ρ est une relation réflexive et simplifiable de D, on a $\tau_1 \subseteq \rho$. Lorsque τ_1 est transitive, c'est l'équivalence simplifiable minimale de D. En particulier, τ_1 est transitive dans un demi-groupe stationnaire (c'est-à-dire stationnaire à gauche et à droite) et dans un demi-groupe réversible (c'est-à-dire réversible à gauche et à droite).

b. La relation τ_2, fermeture transitive de τ_1, est une équivalence qui n'est pas en général simplifiable, mais qui est contenue dans toute équivalence simplifiable.

c. La relation τ_3, définie dans D par $a\tau_3 b \Leftrightarrow a\tau_2 b$, ou $\exists x,\ y \in D$ tels que $xay\tau_2 xby$, ou $ay\tau_2 by$, ou $xa\tau_2 xb$, est réflexive, symétrique, simplifiable, et contenue dans toute équivalence simplifiable.

On définit comme précédemment une suite croissante (Σ) de relations τ_i, réflexives et symétriques, celles d'indice impair étant simplifiables, celles d'indice pair étant transitives, chaque relation étant contenue dans toute équivalence simplifiable; plus précisément, τ_{2p} est la fermeture transitive de τ_{2p-1}, et τ_{2p+1} se déduit de τ_{2p} comme τ_3 de τ_2.

Si l'on définit la relation τ par $a\tau b \Leftrightarrow \exists n$ entier positif tel que $a\tau_n b$, $\tau_n \in (\Sigma)$, τ est la plus fine équivalence simplifiable de D.

A priori, cette équivalence n'est pas régulière; nous noterons cependant qu'elle l'est lorsque D est stationnaire : elle est dans ce cas égale à τ_1, qui est alors la plus fine équivalence régulière et simplifiable de D, D/τ_1 étant le plus grand semi-groupe homomorphe à D.

4. Les demi-groupes inversés et rectangulaires ont déjà retenu notre attention ([2]), en particulier ceux qui sont globalement idempotents ($D^2 = D$).

Un demi-groupe inversé est un demi-groupe dans lequel $\forall x \in D$, $\exists x' \in D$ tel que xx' ou $x'x$ soit idempotent; un demi-groupe rectangulaire est un demi-groupe dans lequel tous les éléments sont forts ([1]), ([3]), ([4]). Tout demi-groupe stationnaire d'un côté est rectangulaire.

En utilisant l'équivalence σ_1 définie au paragraphe 1, nous démontrons deux propositions qui généralisent une proposition analogue démontrée par G. Thierrin pour un semi-groupe ([5]). Il se confirme ainsi que la notion de demi-groupe stationnaire est une généralisation intéressante de la notion de semi-groupe.

THÉORÈME 2. — *Pour qu'un demi-groupe stationnaire* D *soit inversé et rectangulaire, il faut et il suffit que ses équivalences simplifiables d'un côté soient régulières du même côté.*

Outre la condition « stationnaire », un semi-groupe vérifie les conditions suivantes :

$$(C_1) \qquad ax = bx \Rightarrow |a) = |b);$$

$$(C_2) \qquad xa = xb \Rightarrow (a| = (b|;$$

où $|a)$, par exemple, est l'idéal principal à droite engendré par $a : |a) = a \cup aD$. Le théorème 2 peut être alors complété par la proposition suivante :

THÉORÈME 3. — *Pour qu'un demi-groupe stationnaire* D *vérifiant les conditions* (C_1) *et* (C_2) *soit un demi-groupe inversé, rectangulaire globalement idempotent, il faut et il suffit que ses équivalences simplifiables d'un côté soient régulières du même côté.*

Les démonstrations de ces deux théorèmes seront publiées ultérieurement [en fait, il s'agit seulement de la partie « suffisante », la partie « nécessaire » se déduisant immédiatement d'une proposition contenue dans ([4])].

([1]) P. DUBREIL, *Algèbre*, I, 2e éd., *Cahiers Scientifiques*, Gauthier-Villars, Paris.

([2]) P. LEFEBVRE, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1995.

([3]) THÉODOSSIS, *Thèse d'Université*, Paris, 1955.

([4]) G. THIERRIN *Bull. Classe des Sciences Acad. Roy. de Belgique* 41, 1955, p. 83-92.

([5]) G. THIERRIN, *Bull. Soc. Math. Fr.*, 83, 1955, p. 103-159.

([6]) G. THIERRIN, *Alger-Mathématiques*, 3, n° 2, 1956.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE. — *Géométrie projective différentielle des variétés de cônes*. Note de MM. **Gheorghe Georghiev** et **Ilie Popa**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Application de la méthode du repère mobile de Élie Cartan.

1. Soient M le sommet du cône local, g une de ses génératrices et — en nous limitant au cas de l'espace à trois dimensions — $A_0A_1A_2A_3$ un repère ayant A_0 en M et A_3 sur g. Soient ω_0^1, ω_0^2, ω_0^3 et dt des formes de Pfaff indépendantes qui marquent un déplacement quelconque du sommet A_0, respectivement, de g sur le cône local; on aura

$$dA_i = \omega_i^j A_j \qquad \text{avec} \quad \omega_i^j = \Gamma_{ik}^j \omega_0^k + \Gamma_{it}^j dt.$$

Pour fixer les arêtes et la droite unitaire par A_0 d'un repère invariant attaché à la génératrice g du cône local, il suffit de remarquer l'isomorphisme qui existe entre la géométrie d'un cône et celle d'une courbe plane. On exclut donc les variétés de cônes quadratiques et celles linéaires dont l'étude sera faite séparément.

Ce choix du repère donne, dans le cas générique, $\Gamma_{it}^j = 0$ à l'exception de

$$\Gamma_{1t}^2 = \Gamma_{2t}^3 = \Gamma_{3t}^1 = 1, \qquad \Gamma_{2t}^1 = \Gamma_{1t}^3 = x.$$

On peut attacher dans les cas exceptés, à la génératrice g, des repères convenables de manière à rendre tout $\Gamma_{it}^j = 0$ à l'exception de $\Gamma_{1t}^2 = \Gamma_{3t}^1 = 1$ dans le cas des variétés quadratiques et $\Gamma_{3t}^1 = 1$ dans le cas des variétés linéaires.

En notant

$$d\Gamma_{ik}^j = \Gamma_{ik,m}^j \omega_0^m + \Gamma_{ik,i}^j dt, \qquad d\Gamma_{it}^j = \Gamma_{it,m}^j \omega_0^m + \Gamma_{it,t}^j dt,$$

on a les conditions d'intégrabilité

$$\text{(I)} \qquad \Gamma_{il,m}^j - \Gamma_{im,l}^j = \Gamma_{ik}^j(\Gamma_{lm}^k - \Gamma_{ml}^k) + \Gamma_{im}^k \Gamma_{kl}^j - \Gamma_{il}^k \Gamma_{km}^j + \Gamma_{im}^j \Gamma_{0l}^0 - \Gamma_j^{il} \Gamma_{0m}^0$$

$$\text{(II)} \qquad \Gamma_{im,t}^j - \Gamma_{it,m}^j = \Gamma_{ik}^j \Gamma_{mt}^k + \Gamma_{it}^k \Gamma_{km}^j - \Gamma_{im}^k \Gamma_{kt}^j - \Gamma_{im}^j \Gamma_{0t}^0.$$

En introduisant des coordonnées locales (x^0, x^1, x^2, x^3 telles que $P = x^i A_i$), on a les conditions d'immobilité du point P : $dx^j + \omega_k^j x^k = \varpi x^j$ dont une conséquence remarquable est le fait que, dans chaque plan π solidaire avec le repère, à toute droite passant par A_0 correspond une droite (la droite caractéristique du plan dans le déplacement considéré). C'est l'extension de la polarité Pantazi-Bompiani du cas des variétés linéaires. A l'aide de cette polarité, on peut achever la détermination d'un repère invariant : Les points A_1, A_3 se trouvent sur la caractéristique du plan tangent $A_0A_3A_1$ relative au déplacement sur la « normale projective » A_0A_2; A_2, sur la caractéristique du plan $A_0A_2A_3$ relative au dépla-

cement sur A_0A_1; le point unitaire U sur la caractéristique du plan A_0A_3U relative au déplacement le long de la normale A_0A_2. Ce choix a pour conséquences

$$\Gamma^1_{21} = \Gamma^2_{12} = \Gamma^2_{32} = \Gamma^1_{12} + \Gamma^1_{22} + \Gamma^1_{32} - \Gamma^2_{22} - 1 = 0$$

et celles qui en dérivent de I et II. Il s'ensuit que la variété de cônes génériques a, au plus, 32 invariants indépendants.

2. Soit Γ une courbe décrite par le sommet A_0 d'un tétraèdre invariablement lié à Γ et ϖ un pfaffien invariant indiquant le déplacement de A_0 sur Γ. L'intersection de l'arête A_0A_1 avec la caractéristique du plan $A_0A_iA_j$ $(i = j)$ relative au déplacement ϖ est le point $P = A_i + rA_0$, avec r donné par

$$\left[A_0A_iA_j\frac{\partial A_i}{\varpi}\right] + r\left[A_0A_iA_j\frac{\partial A_0}{\varpi}\right] = 0.$$

Si $P = A_i$, nous aurons

$$r = \left[A_0A_iA_j\frac{\partial A_i}{\varpi}\right]$$

et nous dirons que A_0A_i est « parallèle au sens *Myller* » par rapport à A_0A_j le long de Γ. Si $r \neq 0$, cette quantité sera nommée « la déviation du parallélisme Myller ». Cette déviation nous permet l'extension, pour les variétés de cônes, des courbures normale, géodésique, de Tschebycheff ou de parallélisme et de la torsion géodésique des courbes ou des « réseaux » de la variété considérée.

On a pour Γ courbe admissible de la variété

$$x_g = \text{courbure géodésique} = \left[A_0A_3A_2\frac{\partial A_3}{\omega_0^3}\right] = -\left(\Gamma^1_{33} + \Gamma^1_{3t}\frac{dt}{\omega_0^3}\right),$$

$$x_n = \text{courbure normale} = \left[A_0A_3A_1\frac{\partial A_3}{\omega_0^3}\right] = \Gamma^2_{33} + \Gamma^2_{3t}\frac{dt}{\omega_0^3},$$

$$\tau_g = \text{torsion géodésique} = \left[A_0A_2A_3\frac{\partial A_2}{\omega_0^3}\right] = \Gamma^1_{23} + \Gamma^1_{2t}\frac{dt}{\omega_0^3},$$

$$x_{C_{31}} = \text{courbure de Tschebycheff} = \left[A_0A_3A_2\frac{\partial A_3}{\omega_0^1}\right] = -\left(\Gamma^1_{31} + \Gamma^1_{3t}\frac{dt}{\omega_0^1}\right),$$

$$x_{P_{31}} = \text{courbure de parallélisme} = \left[A_0A_3A_1\frac{\partial A_1}{\omega_0^1}\right] = \Gamma^2_{31} + \Gamma^2_{3t}\frac{dt}{\omega_0^1}.$$

On obtient, de cette manière, des interprétations pour une partie des invariants Γ_{ik}.

3. L'annulation de ces quantités fournit un moyen naturel pour l'introduction de lignes ou « réseaux » remarquables de la variété. On aura, par exemple :

Γ est géodésique de la variété si $x_g = 0$; son équation sera donc $dt + \Gamma^3_{31}\,\omega^3_0 = 0$.

Γ est asymptotique de la variété si $x_n = 0$. L'équation en $t\Gamma^2_{33} = 0$ donne les directions asymptotiques sur le cône local.

Γ est ligne de courbure de seconde espèce si $\tau_g = 0$ donc si $xdt + \Gamma^1_{23}\omega^3_0 = 0$.

Si $x_{C_{31}} = 0$, l'arête $A_0 A_3$, déplacée le long de Γ tangente à l'arête $A_0 A_1$, reste « parallèle au sens Levi-Civita » sur la variété de cônes; nous dirons, dans ce cas, que le réseau des lignes tangentes à A_0A_3 et à $A_0 A_1$ forment un « réseau semi-Tschebycheff ».

Si $x_{P_{31}} = 0$, nous dirons que $A_0 A_3$ est unilatéralement conjuguée à $A_0 A_1$ et l'on aura $\Gamma^2_{31} = 0$.

Enfin, on peut définir les lignes de courbure de première espèce : les lignes pour lesquelles $dx_n/dt = 0$, ce qui donne

$$\Gamma^3_{33,t} = 0.$$

On obtient une première généralisation des variétés Tzitzéica : les variétés pour lesquelles cette dernière équation est identiquement satisfaite. Les conditions d'intégrabilité II nous donnent encore

$$\Gamma^1_{33} = \Gamma^2_{13} + \Gamma^2_{31}.$$

Un cas particulier de ces variétés est celui du complexe de droites pour laquelle on a $\Gamma^2_{33} = 0$ et les relations finies qui en résultent par les conditions II, parmi lesquelles nous citerons, en dehors de celle de la variété Tzitzéica,

$$2(\Gamma^1_{13} + \Gamma^1_{31} - \Gamma^2_{11}) = \Gamma^3_{33} + \Gamma^2_{23} + \Gamma^2_{32}, \qquad \ldots.$$

Les lignes caractéristiques de la variété de cône sont données par

$$dt + (\Gamma^2_{13} - \Gamma^2_{31})\,\omega^3_0 = 0.$$

L'invariant $\tau = \Gamma^2_{31} - \Gamma^2_{13}$ peut être nommé « torsion » de la variété; l'annulation de τ exprime l'holonomie de la variété.

Des cas remarquables sont : celui des variétés holonomes de cônes de coïncidence ($x = 0$) ou celles pour lesquelles $x = \text{Cte}$.

4. En revenant aux considérations faites au commencement du paragraphe 2, si $\partial P/\varpi$ se trouve sur A_0A_1 nous dirons que P est « point Malus », l'existence duquel exige que Γ soit tangente au « cône Malus » d'équation $\omega^j_i\,\omega^k_0 = \omega^j_0\omega^k_i - 0$ dans laquelle i, j, k (différents entre eux) ont les valeurs 1, 2, 3.

Si $\partial P/\varpi$ se trouve sur PA_j, nous dirons que l'arête A_0A_i est « concurrente au sens Myller » par rapport à $A_0 A_j$ le long de Γ. Cela a lieu si Γ est tangente au « cône Myller » d'équation

$$(\omega^k_i)^2\omega^2_0 + \omega^k_i\omega^k_0(\omega^0_0 - \omega^i_i) - \omega^0_i(\omega^k_0)^2 - \omega^k_0\frac{\partial\omega^k_i}{\varpi} + \omega^k_i\frac{\partial\omega^k_0}{\varpi} = 0.$$

Enfin, si l'on a simultanément $P = A_i$ et $\partial P/\varpi \in PA_j$, nous dirons qu'on a la « concurrence Myller spéciale ».

AÉRODYNAMIQUE. — *Détermination de l'angle de décrochement (« incidence critique ») d'un obstacle fini en écoulement tridimensionnel.* Note (*) de M. **Ernest A. Eichelbrenner**, transmise par M. Maurice Roy.

En utilisant en écoulement turbulent l'équivalent d'une formule, bien connue en laminaire, pour la valeur pariétale de l'angle entre les directions des lignes de courant à l'intérieur et à l'extérieur de la couche limite d'un obstacle tridimensionnel, on détermine la profondeur de la zone d'eau morte derrière un bourrelet du bord d'attaque. Le contact entre cette eau morte et le décollement au bord de fuite détermine l'incidence critique de l'obstacle. La même formule peut également servir au calcul de la ligne de décollement turbulent au bord de fuite.

1. Les considérations suivantes sont limitées aux obstacles tridimensionnels présentant un plan de symétrie. L'intersection de l'obstacle avec ce plan forme un ou plusieurs profils aérodynamiques dont les bords d'attaque (à faible rayon de courbure) et de fuite sont supposés être entièrement contenus dans des plans normaux à celui de symétrie. Des exemples typiques sont l'aile annulaire et l'aile droite à allongement fini.

Les obstacles sont placés, à incidence modérée, mais sans dérapage, dans un écoulement uniforme d'un fluide incompressible (« vent »).

2. Des essais, effectués à l'I. S. L. [1] pour le premier et à l'O.N.E.R.A. [2] pour le deuxième des exemples cités au paragraphe 1, montrent l'existence de trois intervalles d'incidences typiques, caractérisés par des configurations de l'écoulement près de la surface de l'obstacle [3] :

a. Incidences faibles : l'obstacle présente, comme seule forme de décollement, un bourrelet du bord d'attaque [4] de faible profondeur et d'extension en envergure limitée.

b. Incidences moyennes : en plus du bourrelet, un décollement au bord de fuite apparaît. Sur le profil ainsi épaissi, l'écoulement ne recolle plus immédiatement après le bourrelet, mais beaucoup plus en aval, formant ainsi une zone dite d' « eau morte » qui, en réalité (*fig.*), présente un écoulement bien organisé à son intérieur [1], [3]. Dans le cas limite de l'aile infinie, il prend la forme d'un reflux vers le bourrelet [2].

c. Incidences élevées : la zone d' « eau morte » et le décollement au bord de fuite entrent en contact formant ainsi un large couloir où l'écoulement remonte vers le bord d'attaque.

Par la suite, le cas *b* sera analysé. Son étude permet, de concert avec le calcul du décollement tridimensionnel au bord de fuite, la détermination de l'incidence « critique » (réunion des zones de décollement aux bords d'attaque et de fuite).

3. Bien que le décollement derrière les bourrelets soit généralement turbulent, il paraît intéressant d'étudier d'abord le cas où l'écoulement resterait laminaire jusqu'au bord de fuite.

La zone d'eau morte est délimitée, vers l'écoulement de couche limite sain en dehors de cette zone, par deux lignes qui prennent naissance aux bouts des bourrelets.

Ces deux lignes présentent le caractère de lignes de courant pariétales telles qu'elles ont été définies par l'auteur ([5]). Leur calcul est donc possible, à partir des bouts des bourrelets, moyennant la formule

$$(1) \qquad \cot g\,\theta_p = C_l \frac{\Lambda + 12}{\Lambda} \frac{\dfrac{\partial p}{\partial s}}{\dfrac{\partial p}{\partial z}}$$

donnant la valeur pariétale de l'angle θ entre les lignes de courant à l'extérieur et à l'intérieur de la couche limite; C_l est un facteur numérique qui dépend des degrés k_1 et k_2 des polynomes de Pohlhausen dans les couches limites longitudinale et transversale. Λ est le paramètre de Pohlhausen, calculé par pinceaux de courant de l'écoulement extérieur, s et z sont les directions respectivement parallèle et normale à celle de l'écoulement extérieur, p est la pression statique.

Pour l'aile annulaire, les bouts des bourrelets se trouvent à $\varphi \sim \pm 90^\circ$. Les lignes limites partent, de ces bouts, en direction de l'écoulement extérieur; θ_p aura donc une valeur initiale de 0°.

L'intégration pas à pas de l'équation (1) est alors possible; elle fournit deux lignes de courant limites qui se rencontrent au plan de symétrie de l'obstacle, délimitant ainsi la zone d'eau morte. D'autre part, les méthodes connues du calcul de la couche limite tridimensionnelle ([5]) permettent la détermination du décollement au bord de fuite.

En représentant alors en fonction de l'incidence la profondeur de la zone d'eau morte ainsi que celle du décollement au bord de fuite, mesurées dans le plan de symétrie de l'obstacle, on peut déterminer l'incidence critique par le contact des deux zones.

4. En général, cependant, la couche limite sera turbulente en dehors de la zone d'eau morte. Or, jusqu'ici, aucune théorie n'existe pour appliquer, de façon mathématiquement irréprochable, les méthodes semi-empiriques de traitement de la couche limite turbulente au problème du décollement tridimensionnel.

Lignes de décollement et lignes limites de l'eau morte faisant toujours partie de la sous-couche laminaire, il est raisonnable de supposer, pour leur direction, une relation analogue à l'équation (1) où le paramètre de forme laminaire Λ est remplacé par celui habituel de la couche limite turbulente H. Pour tenir compte des valeurs particulières de $\partial p/\partial s$, $\partial p/\partial z$ et θ_p aux points critiques de la couche limite longitudinale dans le plan de symétrie, à savoir près du minimum de pression et à l'approche du décollement, on remplacera le facteur $(\Lambda + 12)/\Lambda$ par son équi-

valent $(H - 2)/(H - 1{,}4)$ en écoulement turbulent, où $H = \delta_1/\delta_2$ est le paramètre de forme de la couche limite turbulente.

5. On propose alors comme formule pour l'angle θ_p l'expression

$$\cot \theta_p = C_t \frac{H - 2}{H - 1{,}4} \frac{\dfrac{\partial p}{\partial s}}{\dfrac{\partial p}{\partial z}}, \tag{2}$$

où C_t est un coefficient numérique à déterminer par l'expérience. Pour C_t donné, le calcul des lignes limites se fait exactement de la même façon que dans le paragraphe 3. Les profondeurs de la zone d'eau morte ainsi trouvées en fonction de l'incidence peuvent alors être directement comparées à celles relevées en soufflerie.

6. La méthode de détermination des limites d'eau morte permet alors le calcul, en deux dimensions, de la zone de reflux derrière les bourrelets, signalée (2) pour l'aile droite infinie : en effet, on peut calculer, sur l'aile annulaire, la profondeur de la zone d'eau morte dans le plan de symétrie, pour une même incidence, mais pour différents rapports $\lambda = L/D$ à L fixe.

En rapportant la profondeur de la zone d'eau morte en fonction de λ, on obtient en $\lambda = 0$ la position en profondeur de la ligne de recollement (limite arrière de la zone de reflux) sur l'aile droite d'allongement infini $(D \to \infty)$.

7. La formule (2) permet également le calcul de la ligne de décollement sur un obstacle tridimensionnel quelconque, pour les écoulements turbulents. Cette ligne s'obtient, à partir d'un point de divergence et comme ligne singulière de courant pariétal, par intégration pas à pas de l'équation (2).

La comparaison entre calcul et expérience, sujet d'une thèse en préparation à la Faculté des Sciences de Poitiers, donne un moyen supplémentaire pour contrôler le choix de C_t effectué d'après le paragraphe 5.

(*) Séance du 18 juillet 1960.

(1) E. A. Eichelbrenner, *Jahrbuch der W. G. L.*, 1959.

(2) Essais non encore publiés de la soufflerie de Cannes (O.N.E.R.A.).

(3) E. A. Eichelbrenner et G. Hacques, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1114.

(4) M. Roy, *Z. A. M. P.*, vol. 9 *b*, fasc. 5-6, 1958, p. 554-569.

(5) E. A. Eichelbrenner, Note technique du Ministère de l'Air n° 85, novembre 1959, p. 57-84.

HYDRAULIQUE. — *Remarques sur un dispositif simple pour réduire la célérité des ondes élastiques dans les conduites en charge.* Note de MM. **Gaston Remenieras** et **Léon Mandelbrot**, transmise par M. Léopold Escande.

Dans une Note précédente (1), MM. Escande, Remenieras et Claria ont étudié de façon systématique les conditions d'emploi du dispositif imaginé par M. Remenieras pour la réduction de la célérité a des ondes circulant dans une conduite forcée. Le principe de cette discussion des cas favorables ou non favorables à la diminution de la surcharge par diminution de la célérité des ondes repose sur la considération d'une série de paramètres a_1, a_2, a_3, a_4 et a_5, ayant tous les dimensions d'une célérité et dont les différentes permutations définissent les différents cas physiquement possibles. Pour le calcul de la surpression, les formules utilisées étaient celles de De Sparre.

La présente Note a pour but de mettre en évidence les mêmes résultats en utilisant une représentation graphique différente de celle donnée dans le Mémoire original de M. Remenieras (2). Le graphique est tracé en coordonnées adimensionnelles :

$$\text{abscisses} : \quad \theta = \frac{aT'}{2L};$$

$$\text{ordonnées} : \quad \rho = \frac{av_0}{2gy_0}.$$

Le graphique comprend d'une part le réseau de courbes :

$$\xi = \frac{\xi_M}{y_0} = \text{Cte},$$

d'autre part les courbes limites suivantes :

— la courbe $2\theta = (2\rho - 1)/(2\rho - 2)$, limite inférieure des « hautes chutes »;

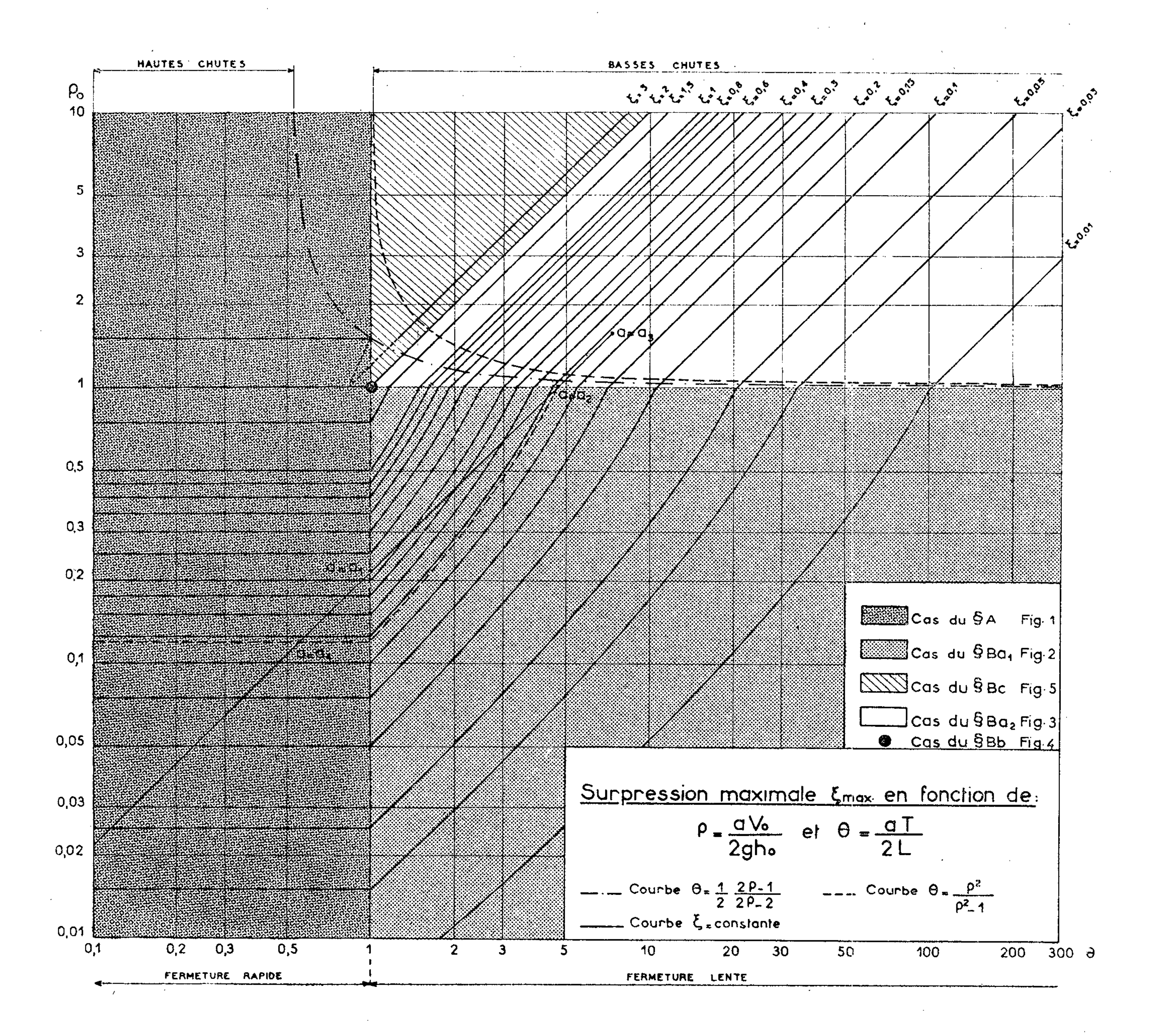
— la courbe $\theta = \rho^2/(\rho^2 - 1)$, limite supérieure des « basses chutes »;

— la droite $\theta = 1$, limite supérieure des fermetures brusques;

— la droite $\rho = 1$, ligne de raccordement des équations de De Sparre.

Pour juger de l'influence de la diminution de la célérité sur la surpression ξ on procède de la façon suivante : on porte sur le graphique le point représentatif M_0 (ρ_0, θ_0) de la conduite en l'absence de dispositif. Si l'on diminue alors la célérité a, le point représentatif M évolue en direction de l'origine des coordonnées en suivant la droite reliant sa position initiale M_0 à l'origine. Dans cette évolution, le point M recoupe des courbes ξ = Cte de cotation croissante ou décroissante, ce qui permet de juger si le cas est ou non favorable.

On peut alors partager le plan du graphique en quatre zones. Suivant que le point initial se trouve dans l'une ou l'autre de ces zones, l'évolution correspondra à l'un ou l'autre des cas envisagés dans la discussion à laquelle nous nous référons. Nous indiquons dans chaque zone le cas et les numéros des figures de la Note correspondante ([3]).



Rappelons la représentation sur ce graphique des paramètres introduits :

a_3, célérité en l'absence de tout dispositif et donnée par la formule d'Allièvi;

a_1, célérité pour laquelle la droite décrite par le point représentatif coupe la droite $\theta = 1$;

a_2, célérité pour laquelle la droite décrite par le point représentatif coupe la droite $\rho = 1$;

a_4, célérité pour laquelle la droite décrite par le point représentatif recoupe la courbe $\xi = \xi_3$ correspondant à l'état initial;

a_5, célérité pour laquelle la droite décrite par le point représentatif recoupe la courbe $\xi = \xi_3 = \xi_2$.

Rappelons que les courbes $\xi = \text{Cte}$ sont dans la région A des droites parallèles à l'axe des θ et dans la région B_a et la région B_c, des droites passant par l'origine, c'est-à-dire parallèles du fait des coordonnées logarithmiques rejetant cette origine à l'infini.

(1) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 305.

(2) G. Réménieras, *Dispositif simple pour réduire la célérité des ondes élastiques dans les conduites en charge* (*Houille blanche*, n° spécial A, 1952).

(3) *Loc. cit.*

DIFFUSION. — *Effet sélectif des flammes dans la diffusion latérale d'éléments minéraux introduits en solution. Application à l'enrichissement isotopique.* Note de MM. **Marcel Servigne** et **Jean-Louis Siémons**, présentée par M. Gustave Ribaud.

La pulvérisation dans une flamme de sels minéraux, est une technique depuis longtemps utilisée en spectrophotométrie de flamme.

Une telle pratique ne va pas sans entraîner de faibles pertes en éléments minéraux, par diffusion latérale hors du panache. C'est l'étude particulière de ces diffusats qui est ici entreprise, sous l'angle de leur *composition chimique précise.* L'analyse de ces diffusats radiaux est rendue possible, lorsqu'on en provoque un dépôt régulier sur une paroi plus froide voisine de la flamme.

Dans notre montage expérimental, la flamme utilisée, air-gaz de ville (en proportions sensiblement stœchiométriques) est produite, et alimentée en solutions, par un dispositif du type classique en spectrophotométrie de flamme. Par ailleurs, quelques aménagements particuliers ont permis de conserver à la flamme son meilleur régime stationnaire stable : le panache est maintenu à l'abri des plus faibles perturbations (courants irréguliers de gaz chauds ascendants); il est vertical et disposé coaxialement avec un long tube en silice fondue, formant à la fois cheminée de tirage et paroi de condensation. La distance entre la paroi interne de la cheminée et l'enveloppe du panache est en moyenne de 10 mm.

La constitution des particules, s'échappant de la périphérie du panache, dépend des températures en jeu et de la nature chimique des éléments traités (vapeurs atomiques neutres, ions, oxydes, etc.); un dépôt se forme régulièrement sur toute la paroi interne de la cheminée. Les résultats notés ci-après ne portent que sur la production de la *moitié inférieure du panache*, sachant que les dépôts de niveaux supérieurs ont été reconnus d'une composition progressivement plus confuse et bientôt inexploitable. Le dispositif décrit est favorable à l'obtention de forts dépôts; avec une flamme de 1,20 m de hauteur, il permet de recueillir, sur la seule région étudiée, jusqu'à 10 % de la masse des éléments introduits en solution.

Les principaux résultats se résument ainsi : 1° La plupart des éléments métalliques, séparément traités dans des conditions identiques, donnent lieu à des dépôts de poids caractéristiques pour chacun d'eux (courbes ci-après). 2° Le processus peut, de plus, prendre un caractère *sélectif* : en règle générale, les éléments métalliques, lorsqu'ils sont introduits en mélange (binaire), figurent ensuite sur le dépôt dans une proportion différente de celle d'alimentation de la flamme.

Le tableau ci-dessous donne quelques résultats moyens, chacun d'eux obtenu par répétition de plusieurs essais identiques (faibles écarts). Les résultats sont exprimés en facteur de séparation élémentaire $\alpha_e = R_f/R_i$; R_f et R_i, rapports des concentrations en éléments dans le dépôt et dans la solution pulvérisée; les solutions renferment 2 g/l de chaque élément ($R_i = 1$).

Couples d'éléments. 1		Particules diffusables. 2	α expérimental (α_e) sur les dépôts. 3	α_t calculé. 4
(1)	Na | K	Na K (K_2O, KOH faiblement)	1,34	1,30
(2)	Na | Cs	Na Cs (Cs^+)	2,15	2,40
(3)	Li | Na	LiOH prépondérant [1], [2], Li Na	≈ 1	0,99 (avec LiOH)
(4)	Li | Cs	LiOH, Li Cs (Cs^+)	2,0	2,35
(5)	Na | Fe	Na FeO, Fe_2O_3 (?)	≈ 5	–
(6)	K | Fe	K (K_2O, KOH f.) FeO, (Fe_2O_3)	≈ 3	–
(7)	Ni | Co	NiO CoO, Co_2O_3 (?)	1,15	–
(8)	Fe | Cu	FeO, (Fe_2O_3) Cu	≈ 5	–

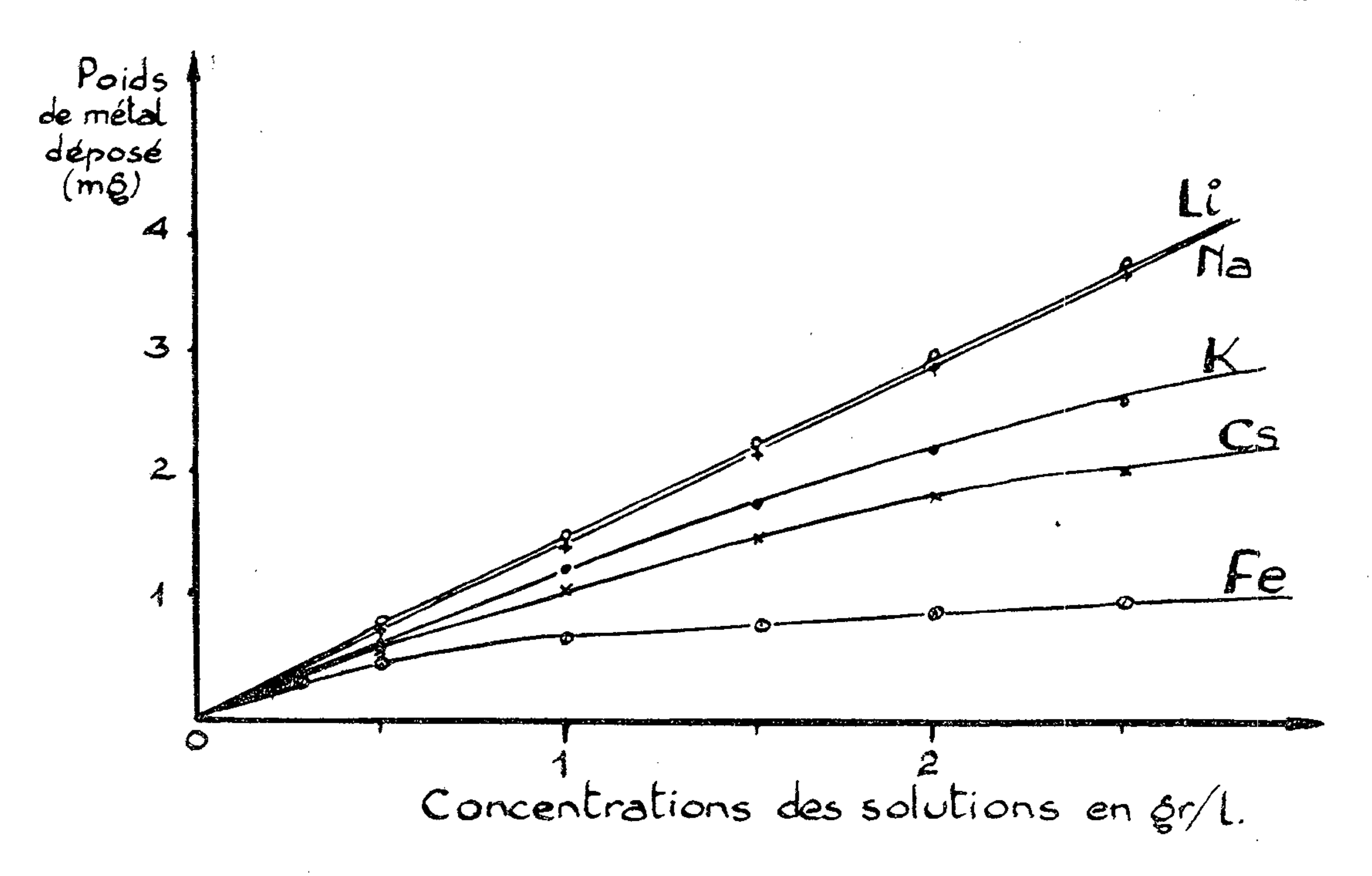
L'effet de sélection est d'autant plus marqué que les éléments couplés ont des caractères chimiques différents et paraissent aptes à former des particules diffusibles de caractères différents (notamment quant aux masses). La sélection des éléments, constatée sur les dépôts, traduit un *enrichissement des diffusats en particules les plus légères.*

Dans l'hypothèse où la diffusion prend son origine dans un effet thermique, on est amené à essayer, en toute première approximation un calcul théorique de α_t par la formule la plus simple : $\alpha_t = \sqrt{m_2/m_1}$, m_2 et m_1, masses moyennes des particules diffusibles respectivement formées par chaque élément du couple. L'application de cette formule suppose assez bien connues la structure et la proportion relative des particules diffusibles formées par chaque élément. C'est ainsi que α_t a pu être calculé dans plusieurs cas (colonne 4). L'accord peut être considéré comme satisfaisant.

3° Ces premiers résultats ont montré que la sélection est assez sensible, pour laisser prévoir la possibilité d'enrichissements isotopiques prati-

quement intéressants. Des essais ont été faits dans ce sens sur le couple isotopique ^{6}Li et ^{7}Li d'un lithium naturel, pris en solution à l'état de chlorure. L'analyse, au spectrographe de masse [3], des dépôts obtenus après un seul passage dans la flamme, montre effectivement un enrichissement en ^{6}Li. Le facteur α_e a été trouvé compris entre les valeurs 1,02 et 1,08, cette dernière correspondant au dépôt le plus régulièrement obtenu.

Le calcul de α_t, précédemment évoqué, n'a pu être ici appliqué vala-



blement, en l'absence de données sur les proportions des particules isotopiques diffusibles de formes différentes (^{6}Li, ^{7}Li, ^{6}Li OH, ^{7}Li OH).

Les valeurs de α_e, obtenues dans nos essais, peuvent être rapprochées des performances réalisées sur le lithium dans d'autres procédés :

$1{,}001 < \alpha < 1{,}02$, échanges sur solides adsorbants [résines [4], zéolithes [5]]; $1{,}054 < \alpha < 1{,}064$, distillation fractionnée du métal [6].

En application, la précédente méthode est susceptible d'aménagements en multiples « plateaux ». Elle peut être mise à profit pour la séparation isotopique de nombre d'éléments dont la flamme est à même d'assurer, de manière simple, la vaporisation et la diffusion sélective.

(1) H. Smith et T. M. Sugden, *Proc. Roy. Soc.* (London), A 219, 1953, p. 204-214.

(2) C. G. James et T. M. Sugden, *Proc. Roy. Soc.* (London), A 227, 1955, p. 312-329.

(3) Analyses effectuées au Laboratoire de Physique nucléaire, Faculté des Sciences, Saclay.

(4) F. Menes, E. Saito et E. Roth, *Proceedings of the symposium on isotope separation*, Amsterdam, 1957, p. 227.

(5) T. I. Taylor et H. C. Urey, *J. Chem. Phys.*, 5, 1937, p. 597.

(6) D. B. Trauger, J. J. Keyes, Jr, G. A. Kuipers et D. M. Lang, *Proceedings of the symposium on isotope separation*, Amsterdam, 1957, p. 350.

(*Laboratoire de Recherches physicochimiques, Institut National Agronomique.*)

MÉTALLOGRAPHIE. — *Point de Curie du carbure de fer hexagonal* ε. Note de MM. **Michel Wintenberger, Jacques Pomey,** Mmes **Paule Lesage** et **Aase Diament,** présentée par M. Georges Chaudron.

Le point de Curie du carbure ε n'est pas connu parce que ce carbure se décompose spontanément à température plus basse. Sachant que le silicium a un effet stabilisant sur ce carbure nous avons pu par addition suffisante de silicium obtenir un carbure ε très stable et de point de Curie précis variable avec la concentration globale en carbone et silicium de l'acier.

Des études précédentes ([1]) avaient montré que dans un acier au carbone ayant subi la trempe martensitique, la première phase du revenu fait apparaître le carbure ε et celui-ci se transforme à plus haute température en carbure χ qui évolue à son tour vers la cémentite. Comme à cette température le carbure ε est ferromagnétique et le carbure χ paramagnétique, cette transformation s'accompagne d'une disparition progressive du ferromagnétisme et au refroidissement apparaît l'anomalie de Curie de la nouvelle variété de carbure. Le cycle thermomagnétométrique est donc irréversible. Par addition de silicium, la température de transformation spontanée du carbure ε se trouve relevée, l'amplitude magnétique plus grande et les phénomènes successifs mieux séparés.

Nous avons donc cherché à accroître davantage la teneur en silicium dans l'espoir de repousser la température de décomposition spontanée au-delà du point de Curie du carbure ε.

Les éprouvettes dilatométriques et magnétométriques ont été obtenues par coulée de baguettes de 4 mm de diamètre en coquille métallique froide pour obtenir la trempe sans graphitisation puis les baguettes ont été refroidies dans l'azote liquide pour arriver à une structure composée de martensite et de 10 à 15 % d'austénite résiduelle. Dans une première série d'essais les aciers avaient pour composition :

C = 1,1,	Mn = 0,7,	Ni = 0,5,	Si = 0,54	désigné par	I
1,4,	0,7,	0,5,	1,81	»	II
1,4,	0,7,	0,5,	2,74	»	III
1,4,	0,7,	0,5,	3,14	»	IV

Les courbes thermodilatométriques différentielles (*fig.* 1) complétées par les courbes thermomagnétométriques correspondantes montrent la succession des phénomènes suivants au cours d'un seul cycle à 600° à la vitesse de 300°/h :

A la dilatation thermique de l'échauffement se superposent d'abord une contraction due au revenu de la martensite avec rejet du carbure ε, puis (courbes I et II) une dilatation provenant de la décomposition de l'austénite résiduelle, ensuite une contraction de grande amplitude due à

la transformation $\varepsilon \rightarrow \chi$, enfin une transformation progressive de χ en cémentite de sorte qu'au refroidissement (courbe I) l'anomalie de Curie de la cémentite apparaît seule. Les courbes de refroidissement sont identiques pour les quatre aciers. Par raison de clarté, seule la courbe de l'acier I a été figurée. Lorsque la teneur en silicium est plus élevée (courbes III et IV) la décomposition de l'austénite résiduelle est reportée à plus haute température et se superpose à la transformation du carbure ε de telle sorte que la contraction résultante est d'amplitude moindre.

La température de décomposition spontanée de ε caractérisée par cette

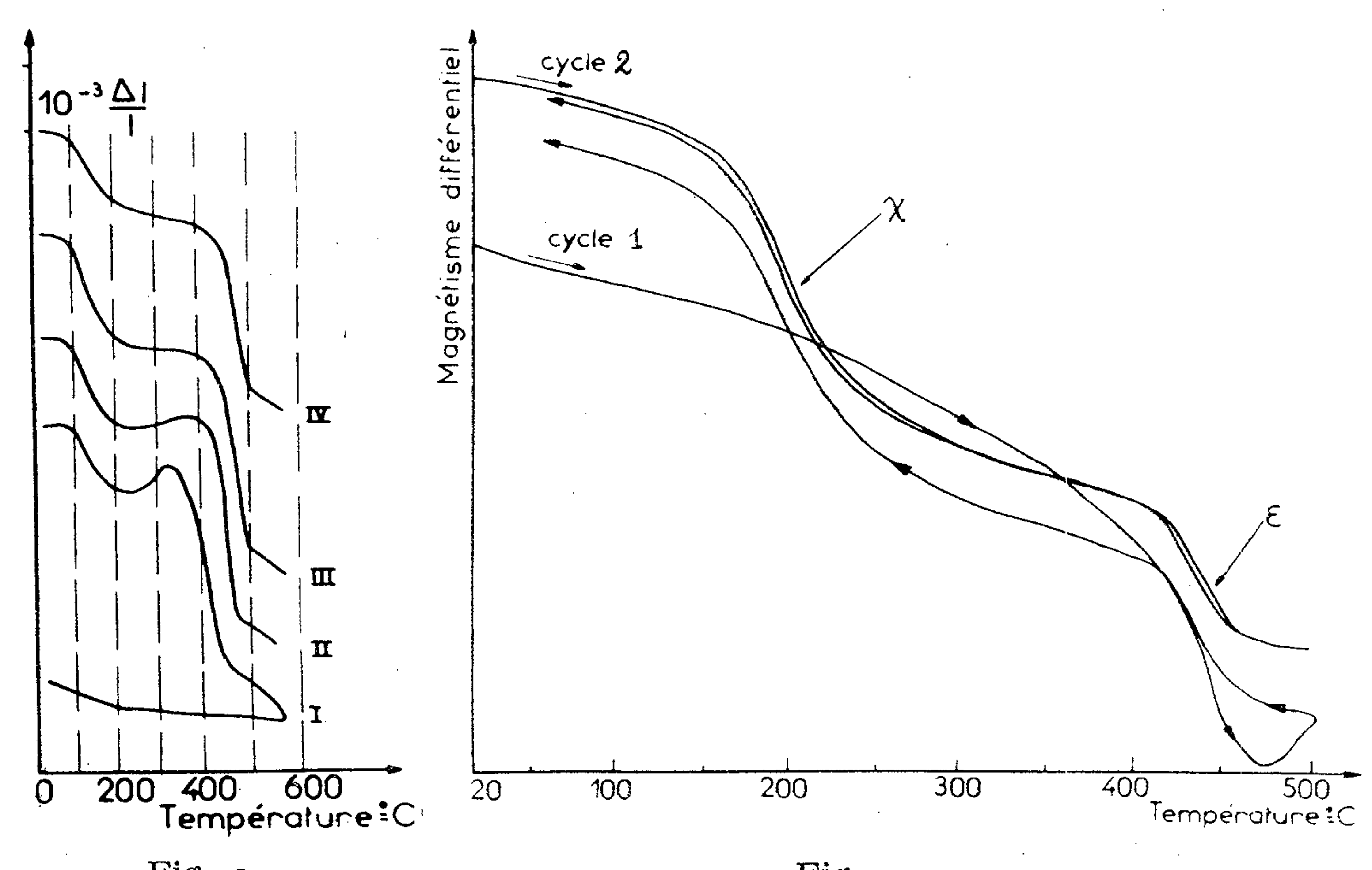


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Courbes dilatométriques différentielles en fonction de la teneur en silicium.

Fig. 2. — Cycles thermomagnétiques. Acier IV (3,14 % Si).

contraction de grande amplitude est d'autant plus élevée que la teneur en silicium est plus forte; les résultats sont donnés ci-dessous :

Teneur en silicium (%)	0,54	1,81	2,74	3,14
Début de transformation (°C)	340	400	415	425
Fin de transformation (°C)	440	470	500	520

Dans les aciers I et II, la teneur en silicium est insuffisante pour mettre en évidence le point de Curie de ε par thermomagnétométrie; cependant pour l'acier II, dans la zone de transformation $\varepsilon \rightarrow \chi$, des cycles thermiques rapides et de faible amplitude montrent une réversibilité partielle caractéristique de l'approche du point de Curie.

Les aciers III et IV ont subi préalablement le revenu de la martensite à 250° pour donner le carbure ε. La figure 2 se rapporte à l'acier IV où les phénomènes sont plus nets et plus amples. Le premier cycle thermo-

magnétique montre à l'échauffement une baisse progressive du magnétisme jusqu'à 470° suivie d'une croissance entre 470 et 500° due à la décomposition de l'austénite résiduelle; au refroidissement on note deux transformations magnétiques que le deuxième cycle montre être réversibles; à savoir celle du carbure ε subsistant et stable et celle du carbure χ provenant d'une transformation partielle d'une fraction initiale moins stable du carbure ε, ce qui explique l'allure progressive de la courbe d'échauffement du premier cycle.

Le carbure ε stable est identifié par extraction électrolytique et diffraction X.

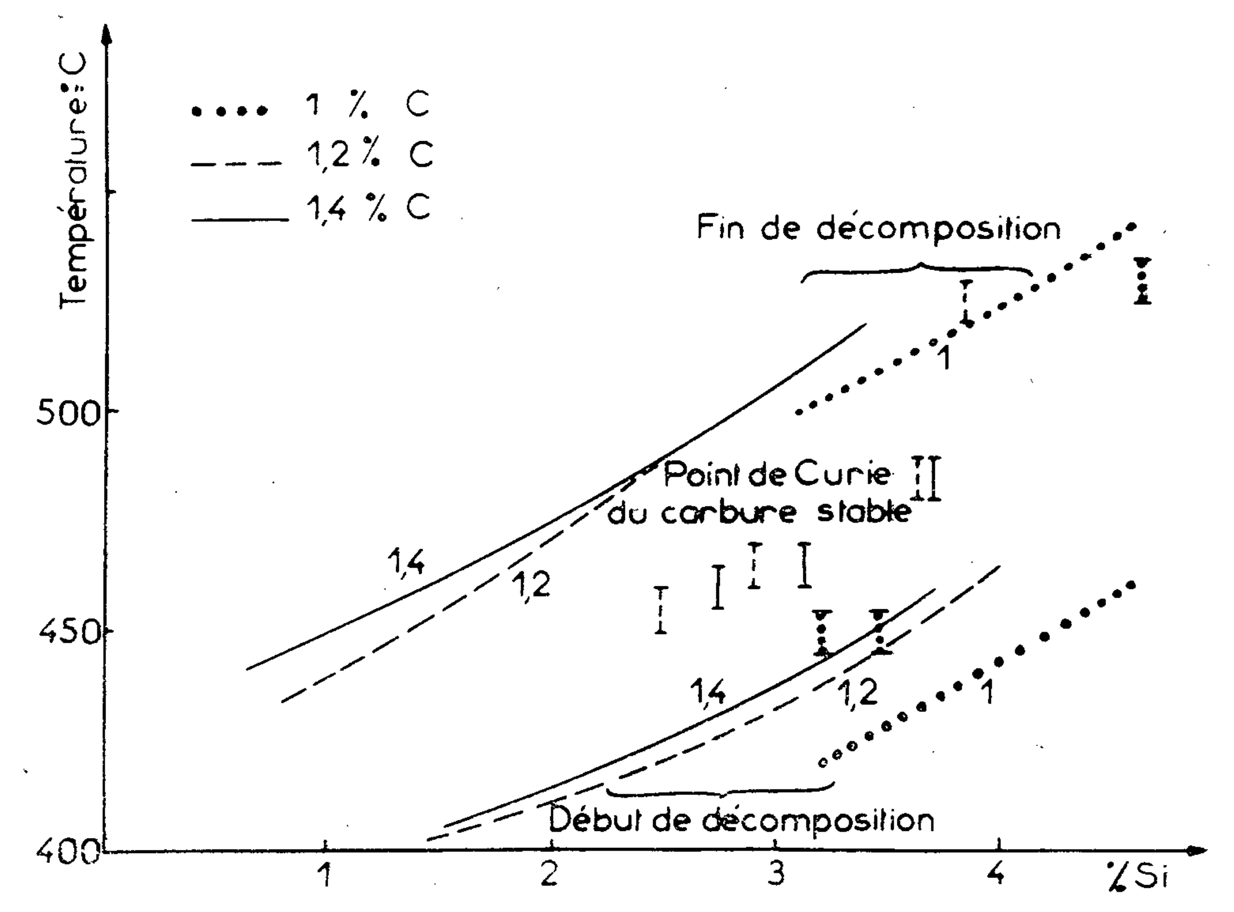


Fig. 3. — Température de Curie et domaine de décomposition du carbure ε en fonction de la teneur en silicium des aciers.

Dans une seconde série d'essais, nous avons considéré des aciers ayant 1, 1,2 et 1,4 % de carbone et des teneurs en silicium variables. Les résultats sont donnés sur la figure 3. En abscisse, sont portées les concentrations en silicium; en ordonnée, sont portées les températures soit de début, soit de fin de décomposition de la partie la moins stable et, quand le carbure stabilisé existe, son point de Curie qui est précis.

On voit que ce dernier croît avec la teneur globale en silicium. Le nickel et le manganèse n'ont pas d'effet sensible. La dispersion des résultats ne permet pas de faire une extrapolation précise du point de Curie pour Si = 0; mais on peut estimer cette température comprise entre 400 et 450°.

(¹) J. Pomey, *Rev. Métallurgie*, 55, 1958, p. 627 et 725.

(*Régie Nationale des Usines Renault.*)

OCÉANOGRAPHIE. — *Sur la distribution du pH en mer de Corail.* Note de M. **Henri Rotschi**, transmise par M. Louis Fage.

Le pH est mesuré systématiquement au cours des croisières de l'*Orsom III* en mer de Corail. On utilise un pH mètre « Beckman modèle G »; la précision statistique des mesures, d'après Bruneau [1], Barnes [2] et Strickland [3], est voisine de 0,02 unité pH.

Les pH mesurés au cours des deux croisières « Choiseul » et « Dillon », exécutées en mai, la première en 1959 et la seconde en 1960 (*fig.* 1), sont très supérieurs à ceux qu'on rencontre à des latitudes similaires en Atlantique (Wattenberg) [4], ainsi qu'à ceux de la zone équatoriale du Pacifique [1]. En effet, comme le montrent les résultats partiels de la figure 2, ils varient de 8,30 à 8,00 au cours de la première croisière, des valeurs inférieures à 8,00 ne se rencontrant qu'aux profondeurs supérieures à 900 m. Au cours de « Dillon », par contre (*fig.* 3), les pH superficiels dépassent 8,30, tandis que les pH profonds n'atteignent pas 8,00.

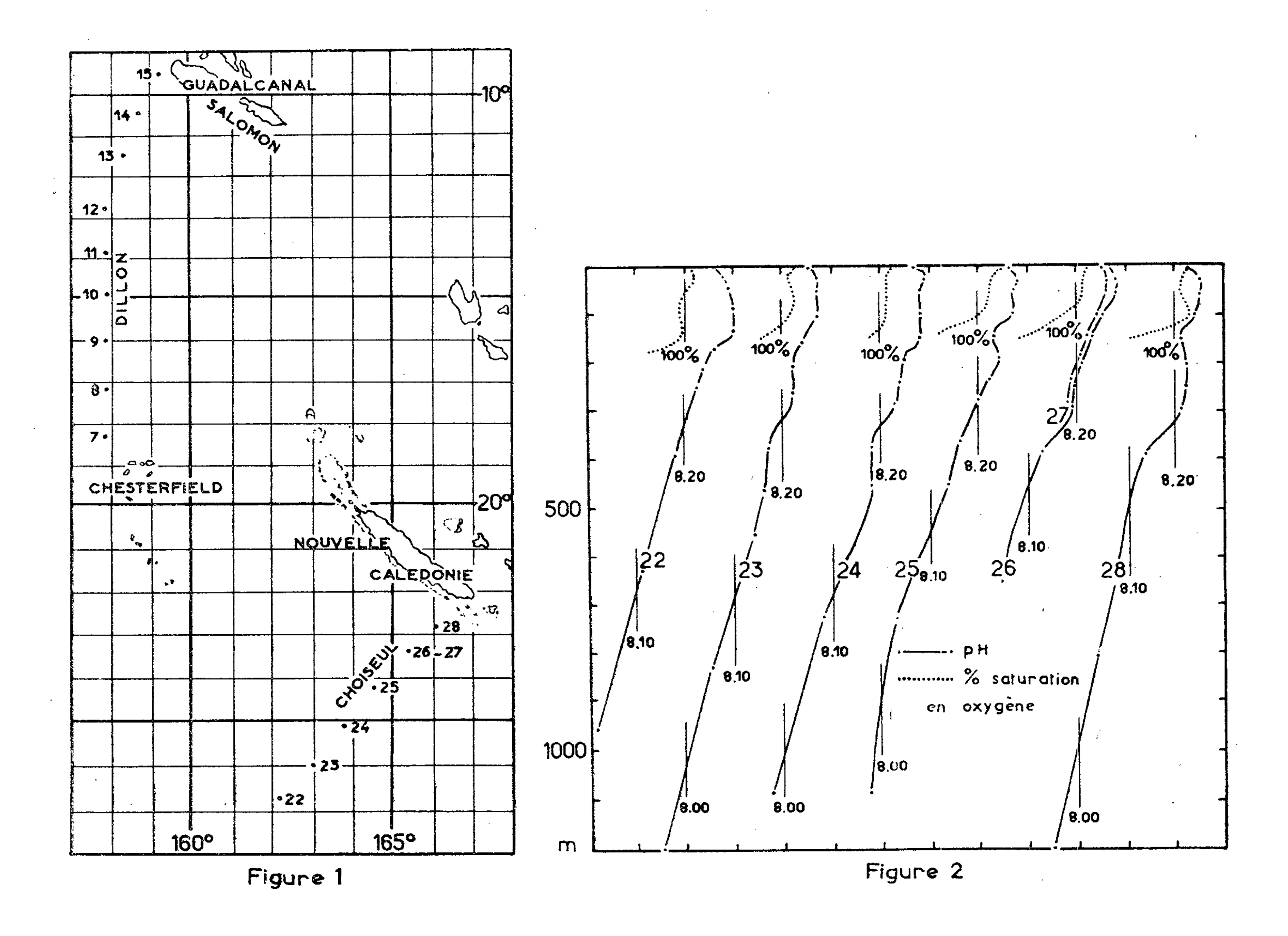


Figure 1

Figure 2

Mais il faut préciser qu'immédiatement sous la surface, le pH augmente et garde une valeur maximale sur une épaisseur d'environ 100 m. Ce maximum coïncide avec un minimum de la concentration en gaz carbonique total et de la pression partielle du gaz carbonique dissous non dissocié (*fig.* 4 où sont représentées les répartitions verticales de ces deux propriétés en deux stations quelconques), ainsi qu'avec une sursaturation en oxygène (*fig.* 2 et 3); ces changements sont dus à l'activité photosynthétique.

En outre, on remarque une inversion caractéristique de la variation du pH avec la profondeur au cours de la croisière « Dillon » (*fig.* 3); il y en a

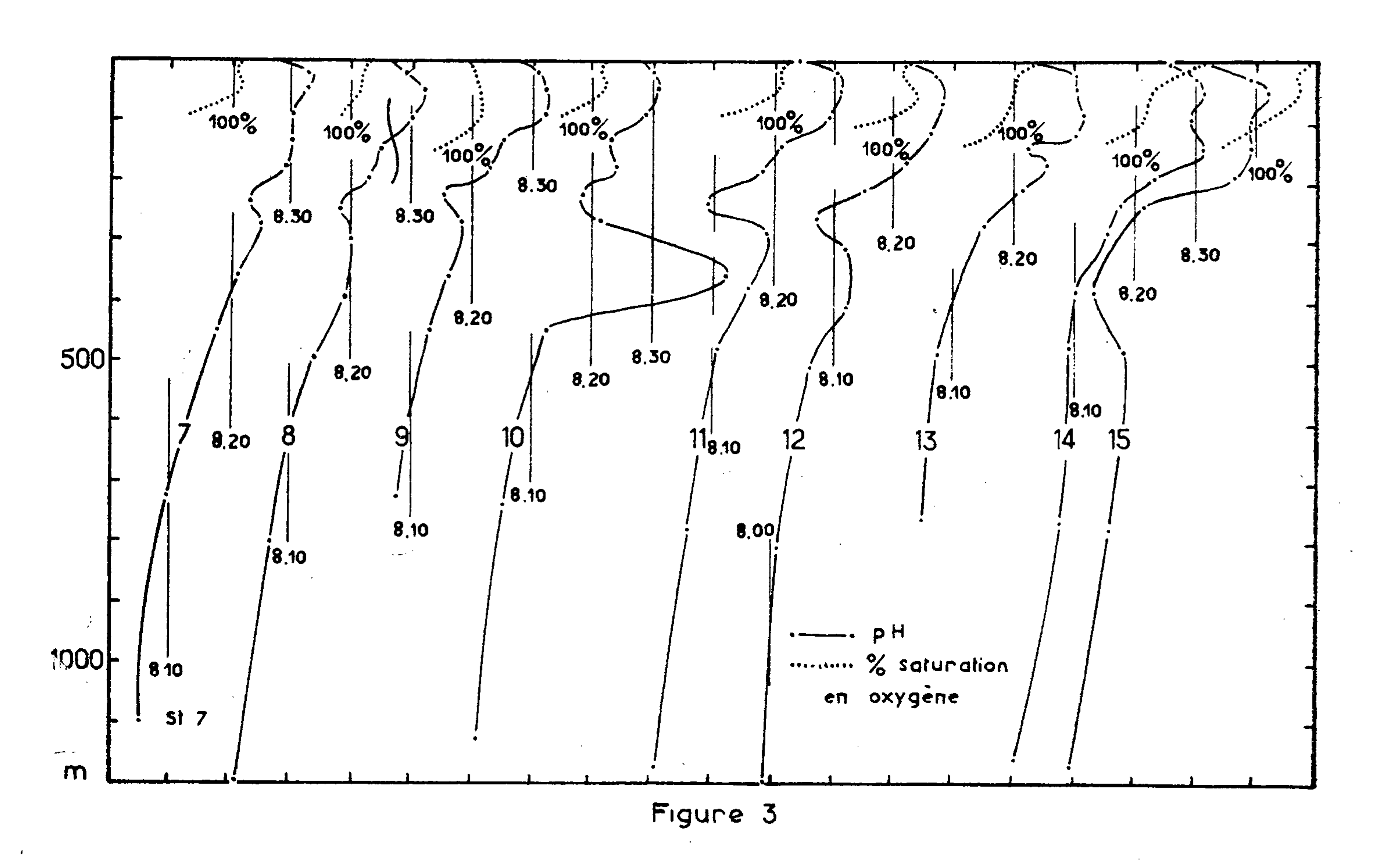


Figure 3

même deux à la station 10. Son amplitude généralement égale ou supérieure à 0,03 unité pH, atteint 0,25 unité pH à la deuxième inversion de cette station. Sauf à celle-ci où le maximum intermédiaire de pH correspond à un maximum d'oxygène dissous et du pourcentage de saturation et à un minimum de phosphate, il n'y a aucune liaison entre le relèvement du pH et la distribution des autres propriétés étudiées, température, salinité, oxygène et phosphate; seules sont modifiées les concentrations en gaz carbonique, en carbonate et en bicarbonate. Ce phénomène n'apparaît pas dans les résultats de la croisière « Choiseul ». Sans liaison apparente avec la distribution de l'oxygène, il ne peut être attribué à une diminution du taux d'oxydation sous la couche euphotique; par contre, il pourrait être causé par une augmentation à son niveau de la concentration en matière organique.

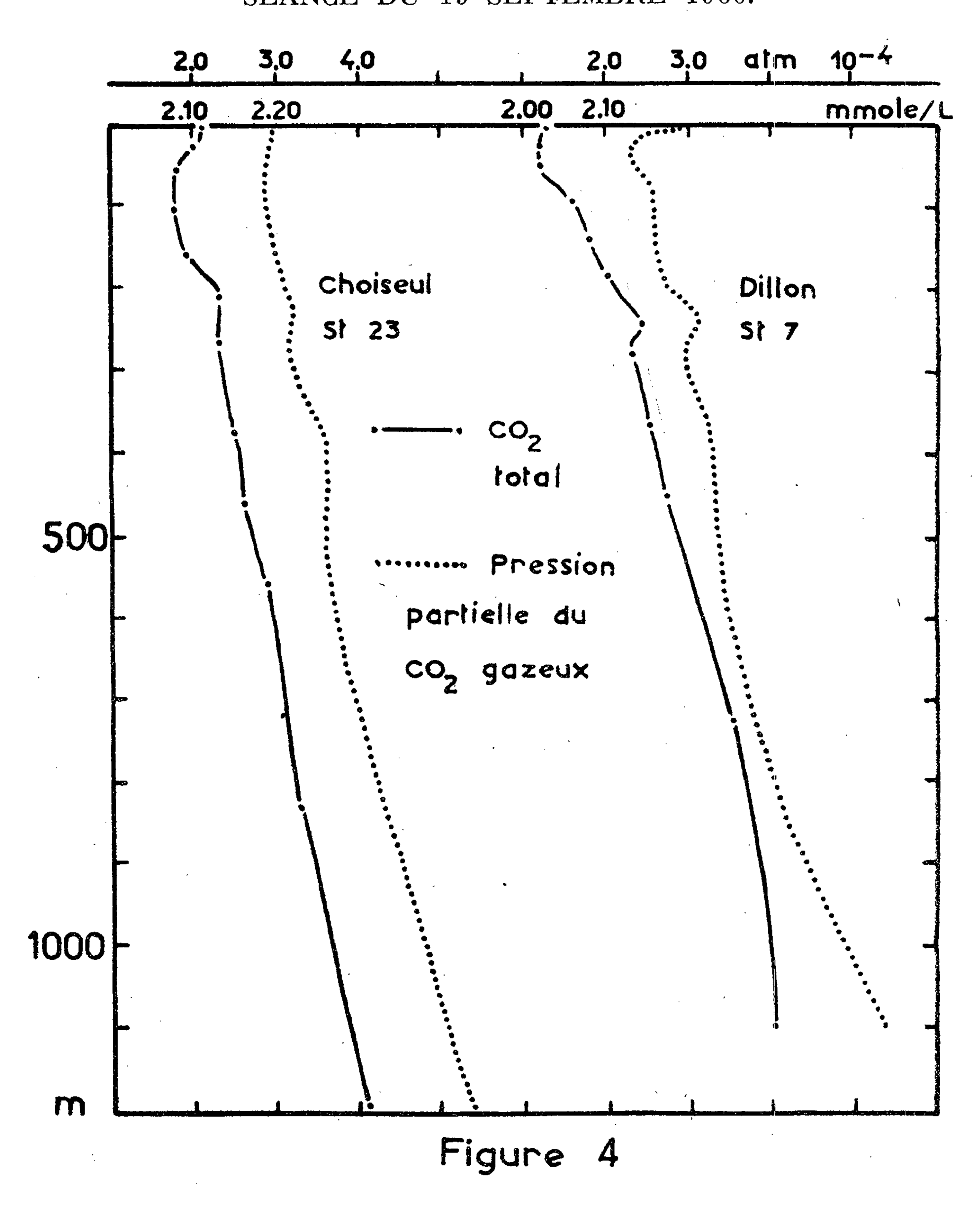


Figure 4

En conclusion, l'originalité de la mer de Corail déjà signalée dans une Note précédente (5) est confirmée par les caractéristiques de la distribution du pH dont certaines n'ont pas encore été rencontrées ailleurs.

(1) L. BRUNEAU, N. G. JERLOV et F. F. KOCZY, *Reports of the Swedish Deep Sea Expedition III*, 4, 1953.

(2) H. BARNES, *Apparatus and Methods of Oceanography George Allen and Unwin Ltd*, London, 1959.

(3) J. D. H. STRICKLAND, *Fish. Res. Board of Canada*, Manus. Rep. series 18, 1958.

(4) H. WATTENBERG, *Deutsche Atlantische Exped. Meteor* 1925-1927 (*Wiss. Erg.*, 8, nº 2, 1933).

(5) H. ROTSCHI, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2403.

(*O.R.S.T.O.M., Institut Français d'Océanie, Centre d'Océanographie.*)

PALÉONTOLOGIE HUMAINE. — *Remarques sur certains aspects de la dentition des Hominidés.* Note de Mme **Émilienne Genet-Varcin**, présentée par M. Jean Piveteau.

Nous avons étudié deux secondes prémolaires inférieures d'Hommes de Néanderthal, puis les ayant comparées aux dents homologues de l'Homme actuel et de l'Homme fossile, nous sommes amenée à tracer le schéma évolutif de cette dent de la manière suivante :

Premier groupe. — La dent est volumineuse, à paroi vestibulaire très convexe verticalement. Les deux cuspides principales ne sont pas très fortes; placées mésialement, la linguale est aussi développée, sinon plus, que la vestibulaire. Une grande fovéa antérieure présente une ridule sur sa paroi mésiale. La fovéa postérieure est vaste et circulaire; ses parois sont recouvertes de fines crêtes séparées par des sillons, le tout disposé en rayons autour du centre de la fovéa; les crêtes se terminent sur le pourtour de cette dernière où elles forment plusieurs surélévations du bord coupant (environ cinq); deux d'entre elles sont plus nettes que les autres, situées en arrière de la cuspide principale vestibulaire et de la cuspide principale linguale, ce sont les « tubercules » accessoires de Virchow.

Deuxième groupe. — La dent est encore volumineuse, sa paroi vestibulaire à peine moins convexe. Les deux cuspides principales sont plus fortes que celles du groupe I; toutes deux placées mésialement, la cuspide vestibulaire est plus développée que la linguale. La fovéa antérieure, encore grande, ne présente plus de ridule. La fovéa postérieure ne présente que quatre épais replis d'émail; les deux mésiaux sont rattachés aux cuspides principales; les deux distaux aux tubercules accessoires de Virchow. Ces replis d'émail sont séparés par deux sillons, l'un rectiligne, mésio-distal, sépare les deux cuspides principales l'une de l'autre ainsi que les deux cuspides accessoires distales; l'autre vestibulo-lingual sépare les deux cuspides principales des deux cuspides distales; ces deux sillons forment une croix à la surface moins profonde de la fovéa postérieure. Les seules cuspides supplémentaires présentes sont les tubercules accessoires de Virchow.

Troisième groupe. — La dent a sensiblement la même inclinaison de sa paroi vestibulaire et le même volume que ceux observés dans le groupe II. La fovéa antérieure est réduite en dimensions et en profondeur par bombement des parois. Des deux cuspides principales, la vestibulaire est forte et tend à occuper le milieu de la partie vestibulaire de la couronne; la cuspide linguale, plus petite, est en position légèrement mésiale par rapport à la vestibulaire. La fovéa postérieure est réduite en superficie. Le sillon mésio-distal qui sépare les deux cuspides principales s'incurve

autour de la cuspide vestibulaire. Le bras vestibulaire du sillon vestibulo-lingual tend à disparaître. Le quart disto-vestibulaire de la fovéa postérieure est réduit et ne présente plus de tubercule accessoire bien défini. Le quart disto-lingual porte le tubercule accessoire net.

Quatrième groupe. — La dent se réduit en taille et la paroi vestibulaire est moins convexe verticalement. Les fovéas antérieure et postérieure sont réduites à de courtes fossettes. La cuspide vestibulaire, fort développée, occupe le milieu du bord vestibulaire de la couronne; la linguale est en position mésiale. La cuspide disto-linguale de Virchow forme un troisième tubercule net; tout autre tubercule supplémentaire a disparu. Le sillon inter-cuspidien est curviligne et il entoure la forte cuspide vestibulaire. Le sillon transversal, réduit à sa branche linguale, sépare les deux cuspides linguales. Le dessin des sillons, sur la partie distale de la couronne, forme un Y placé vestibulo-lingualement.

Cinquième groupe. — Les fovéas antérieure et postérieure sont réduites à de faibles fossettes. La cuspide vestibulaire est très importante; la linguale, plus basse, de taille réduite, n'en paraît parfois qu'une simple dépendance. Tout autre cuspide a disparu. Le seul sillon présent est l'inter-cuspidien curviligne, à concavité vestibulaire.

Dans le premier groupe, nous rangerons les Australopithécinés, les Archanthropiens, certains Néanderthaliens (Le Placard, fouilles abbé Roche; adolescent d'Ehringsdorf; Schipka; Croze del Dua; La Quina Homo 9), un sujet du début du Paléolithique supérieur : Arcy-sur-Cure, grotte du Renne, couche 9; dans le deuxième groupe, certains Néanderthaliens (Vergisson, fouilles Combier; adolescent du Moustier; adolescent de Puymoyen; adulte de Regourdou; dans le troisième groupe, les Néanderthaliens de Krapina; dans le quatrième groupe, les hommes actuels ayant une Pm_2 à trois cuspides; dans le cinquième groupe, les hommes actuels ayant une Pm_2 à deux cuspides.

Des Australopithécinés à l'Homme actuel on assiste donc à une diminution de volume de la seconde prémolaire inférieure; à un redressement de la paroi vestibulaire; à une réduction du nombre de tubercules; au développement de plus en plus marqué de la cuspide vestibulaire; à la réduction des fovéas antérieure et postérieure; à la transformation du dessin formé par les sillons de la surface occlusale (1, aspect rayonné; 2, formation d'une croix; 3, atténuation de la branche vestibulaire de cette croix; 4, formation d'un Y dont la partie symétrique est curviligne; 5, partie curviligne de cet Y seule conservée).

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Migration des glucides du tubercule de Topinambour vers la tige.* Note de M. **Pawel Hanower**, présentée par M. Raoul Combes.

En 1867, A. P. Dubrunfaut [1] signalait que le pouvoir rotatoire des jus de tubercule de topinambour était très différent selon qu'on le mesurait en automne, après la récolte ou au printemps.

H. Colin, dans son beau travail sur les glucides des topinambours [2], analyse le processus de transformation de l'inuline à l'intérieur des tubercules de topinambour pendant la période de repos et en conclut que le pouvoir rotatoire du suc, de négatif devient positif. « Le rapport du glucose au lévulose augmente dans le sucre total, la fraction d'hydrates de carbone hydrolysable par la sucrase ne fait que croître. »

On pensait alors que les glucofructosanes provenant de l'hydrolyse naturelle de l'inuline se dégradaient à leur tour pour donner des réducteurs et que c'est sous la forme de sucres simples que les glucides émigraient vers les tiges au moment de la germination. Ne voit-on pas apparaître de fortes quantités de réducteurs au moment de la germination du tubercule et en dépit de leur utilisation par les organes en croissance ?

Or, s'il est vrai que l'hydrolyse spontanée des polyglucofructosanes de tubercules de topinambour se poursuivant pendant la période de repos, produit au moment de la germination de fortes quantités de réducteurs, il n'est pas moins vrai que ce n'est pas uniquement sous cette forme que le tubercule cède aux bourgeons ces glucides.

Nous avons étudié, par la méthode de chromatographie sur papier, les glucides de topinambour « Patate Vilmorin ».

De tubercules mis à germer à l'obscurité, pendant l'hiver, nous avons systématiquement chromatographié les extraits glucidiques à mesure que les bourgeons croissaient et devenaient tiges jusqu'à épuisement du tubercule et sa putréfaction.

Immédiatement après les prélèvements des échantillons, nous avons débarrassé les tubercules des racines, petits germes, pousses et tigelles étiolées. Nous avons pris soin de ne pas prélever, avec ses organes, des morceaux de tubercule. Les tiges et bourgeons ont été divisés en plusieurs tranches pour examiner séparément les glucides des tiges et bourgeons à différents niveaux.

Les glucides ont été, le plus souvent, extraits directement à l'eau chaude après broyage des tissus dans un mortier, avec du sable de Fontainebleau et une pincée de CO_3Ca. Comme entraîneur nous avons utilisé le plus

souvent : butanol-éthanol-eau (4 : 1,1 : 1,9) ou butanol-acide acétique-eau (40 : 10 : 50). Comme révélateur : *p*-anisidine ou phtalate d'aniline et urée.

Ce travail nous a conduit aux constatations suivantes :

1° Dans les bourgeons et tigelles on trouve des polymères de glucides comparables à ceux des tubercules et qui commencent sur la ligne de départ du chromatogramme jusqu'au R_f du saccharose.

2° Parmi les réducteurs nous avons pu identifier dans les tubercules (au début de la germination) du fructose à l'exclusion de glucose alors que dans les germes et tigelles au contraire, nous trouvons du glucose, à l'exclusion de fructose. Plus tard, on trouve aussi du fructose dans les tiges.

3° De l'analyse des glucides à différents niveaux des tiges il découle qu'au début il n'y a que le glucose qui atteigne les sommets, les polymères restent dans le bas des tiges. Au fur et à mesure que la croissance des tiges se poursuit, les polymères s'élèvent jusqu'à plus de 30 cm. Au-delà de cette hauteur, on trouve du saccharose, du glucose et du fructose.

Vers le mois de juin, quand les plantes à l'obscurité ne poussent plus, on ne trouve plus de glucides dans le bas ni au milieu des tiges. En haut et au sommet il n'y a que du fructose et du glucose. Plus de saccharose.

La même étude a été poursuivie sur des plantes maintenues dans des conditions naturelles en pleine terre car nous avons pensé que la présence des polymères à haut poids moléculaire, dans le cas précédent, dans le bas de la tige, pouvait provenir d'une condensation des glucides due à la croissance anormale des plantes à l'obscurité.

Or, nous avons pu constater dans le second cas, les mêmes phénomènes que dans le premier. Mais ici, on a affaire, en sus de la croissance des tiges, au développement de la plante.

Au milieu du mois de mai, les stolons apparaissent à partir des tiges souterraines. A ce moment, ils ne contiennent, comme glucides, que du glucose et du fructose et des traces de saccharose.

Au moment de la tubérisation on voit apparaître les polymères dans les stolons et les tout jeunes tubercules en formation. Au moment de la tubérisation, l'inuline avec toute la série des polyglucofructosanes qui l'accompagne, apparaît sur toute la longueur de la tige.

Il faut donc conclure de cette étude que les tubercules cèdent aux bourgeons et à la tige tout le mélange des glucides qui se trouvent dans le tubercule au moment de la germination; que le fructose est utilisé très activement lors de la croissance des tiges et ceci d'autant plus que la poussée est plus active; que l'hydrolyse spontanée continue à s'opérer dans la tige pour fournir les glucides simples au fur et à mesure de la croissance de la plante et de ses besoins.

Nous avons pu constater que les extraits des sommets des tiges mis en présence du saccharose hydrolysent *in vitro* ce dernier en quelques heures à la température du laboratoire.

Dans le milieu et le sommet des tiges, on ne trouve de glucides polymérisés qu'au moment de la tubérisation. Jusqu'à ce stade la polymérisation des sucres en polyglucofructosanes ne se produit pas dans la tige.

La plante garde dans le bas de la tige une réserve glucidique (à haut poids moléculaire allant jusqu'à la ligne de départ sur le chromatogramme), qui, le moment venu, est utilisée dans les stolons. Dès lors, seulement, les glucides viennent se polymériser dans la tige de haut en bas pour se déposer dans les jeunes tubercules, jusqu'à la fin du cycle végétatif.

(1) A. P. DUBRUNFAUT, *Comptes rendus*, 64, 1867, p. 764.
(2) H. COLIN, *Revue générale de Botanique*, 31, 1919.

BIOCLIMATOLOGIE. — *Evapotranspiration potentielle d'un couvert végétal : sa signification et sa mesure à partir de l'évaporation sous abri.* Note (*) de M. **Roger Jean Bouchet**, transmise par M. Charles Maurain.

Bien que l'évapotranspiration potentielle, en régions humides, soit voisine du rayonnement net, elle est cependant mesurable à partir de l'évaporation sous abri à condition d'apporter à celle-ci une correction dépendant de la température de l'air et du point de rosée.

L'évapotranspiration potentielle représente l'évaporation totale d'un couvert végétal infini lorsque l'énergie constitue l'unique facteur limitant de cette évaporation. Penman l'a considérée comme la somme de deux termes : l'un correspondant à l'énergie cédée par l'air, l'autre étant une fonction du rayonnement net.

On se propose de montrer que lorsque l'évaporation réelle d'une région est égale à l'évapotranspiration potentielle ETP, cette dernière peut être reliée directement au rayonnement net et être évaluée à partir de simples mesures d'évaporation sous abri. Suivant les cas, on exprimera ETP en hauteur d'eau ou en énergie.

Soit : a l'albedo de la région, R_g la radiation globale, R_a le rayonnement atmosphérique, R_t le rayonnement du sol, C et E les énergies mises en jeu par la condensation et l'évaporation, Q l'énergie positive ou négative cédée au système air-sol-végétation durant 24 h par convection-conduction de l'air et conduction du sol. En négligeant la photosynthèse, on a le bilan suivant :

$$(1-a)R_g + R_a + C = E + R_t + Q. \qquad (1)$$

En raisonnant sur une période de 24 h et si l'état final est le même que l'état initial, Q représente essentiellement les pertes du système par convection. Celles-ci sont relativement faibles et généralement en relation avec l'évaporation nette E-C, soit dans le cadre des hypothèses ETP. On peut donc écrire

$$(1-a)R_g + R_a - R_t \# \text{ETP}. \qquad (2)$$

L'évapotranspiration potentielle correspond au rayonnement net.

Il est alors possible de concevoir théoriquement une surface évaporante « modèle » dont l'évaporation ramenée à l'unité de surface horizontale durant une journée serait égale à celle de la région considérée. Examinons cette surface évaporante et ses couches limites laminaires équivalentes. En première approximation on confondra les épaisseurs Δz des couches relatives à la diffusion de la vapeur et à la conduction de la chaleur (*fig.* 1).

Considérons au cours des 24 h les températures moyennes de l'air θ_a,

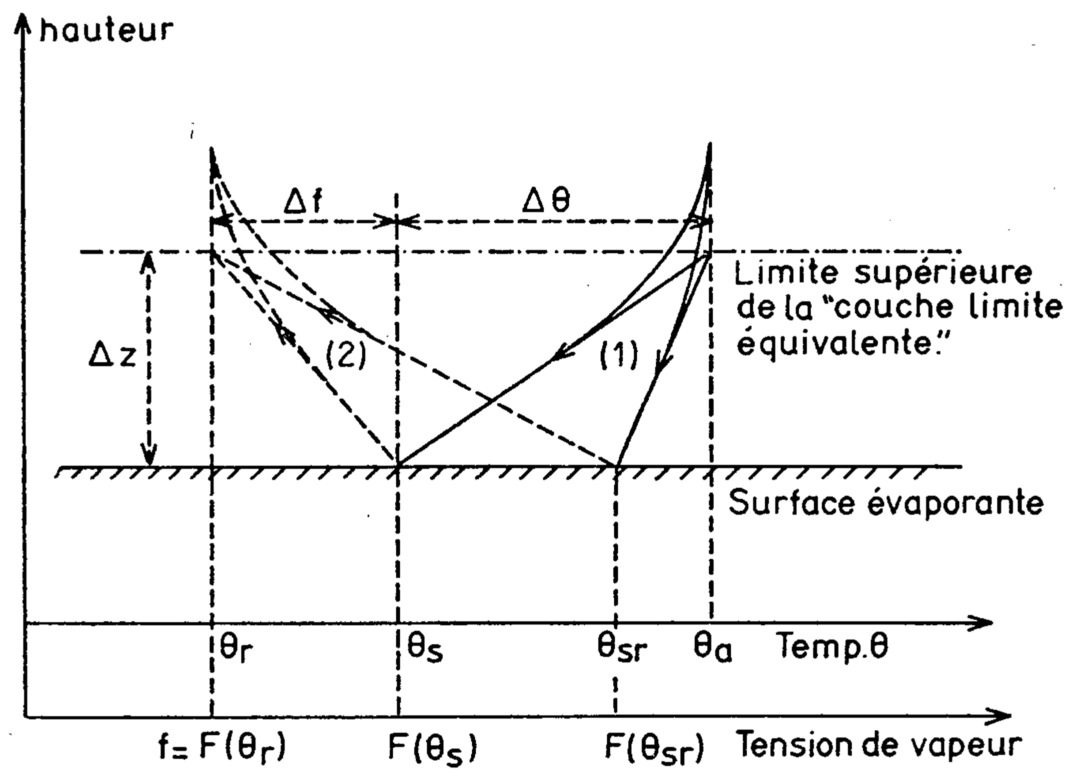
du point de rosée θ_r, des surfaces évaporantes θ_{sr} ou θ_s soumises au rayonnement net R_n ou en équilibre radiatif. D'autre part, soit f la tension de vapeur de l'air, F (θ) la tension saturante, F' (θ) la dérivée de F (θ) par rapport à (θ), L la chaleur latente de vaporisation, K et D les coefficients de conductibilité et de diffusion moléculaire.

Par définition, ce « modèle » soumis au même rayonnement net R_n que la région précitée, doit avoir une évaporation égale à ETP (ETP=E—C)

$$\text{ETP} = \text{D}\frac{\text{F}(\theta_{sr}) - \text{F}(\theta_r)}{\Delta z}. \tag{3}$$

Or, en régime permanent, l'énergie perdue est égale à l'énergie reçue :

$$\text{LD}\frac{\text{F}(\theta_{sr}) - \text{F}(\theta_r)}{\Delta z} = \text{K}\frac{\theta_a - \theta_{sr}}{\Delta z} + \text{R}_n. \tag{4}$$



Les profils (1) correspondent à des flux de chaleur
Les profils (2) correspondent à des flux de vapeur

De la comparaison des égalités (2), (3) et (4) on déduit

$$\theta_a = \theta_{sr}. \tag{5}$$

Tout se passe comme si à l'échelle de la journée les surfaces évaporantes naturelles évaporaient comme une surface « modèle » dont la température moyenne serait la température moyenne de l'air, l'épaisseur des couches limites des surfaces évaporantes étant liée à celle du modèle par l'intermédiaire du vent.

Un tel « modèle » est réalisable à partir des évaporomètres placés sous abri, bien que ces derniers soient soumis à un rayonnement net presque nul ($R_n = 0$). En désignant par Δz_1 l'épaisseur de la couche limite équivalente de l'évaporomètre, on aura pour l'évaporation sous abri E_a

$$\text{E}_a = \text{D}\frac{\Delta f}{\Delta z_1} = \text{DF}'(\theta)\frac{\theta_a - \theta_r}{\Delta z_1}\,\frac{\text{K}}{\text{K} + \text{LDF}'(\theta)}, \tag{6}$$

Comme les égalités (3), (4) et (5) entraînent

$$\text{ETP} = \text{DF}'(\theta)\frac{\theta_a - \theta_r}{\Delta z}, \tag{7}$$

On aura

$$\text{ETP} = \text{E}_a \frac{\Delta z}{\Delta z_1}\left(1 + \frac{\text{LDF}'(\theta)}{\text{K}}\right). \tag{8}$$

L'évaporation E_a peut être fournie par un simple évaporomètre Piche. Le rapport $\Delta z/\Delta z_1$ des couches limites dépendra des caractéristiques de l'évaporomètre, du type d'abri utilisé et des conditions d'installation. Le terme $1 + [\text{LDF}'(\theta)/\text{K}] = \lambda(\theta)$ ([1]), introduit une correction de E_a qui dépend de θ par l'intermédiaire de $F'(\theta)$. En première approximation on peut prendre pour θ la moyenne entre les températures moyennes de l'air et du point de rosée.

On a, finalement,

$$\text{ETP} = \alpha \text{E}_a \lambda(\theta), \tag{9}$$

α est un coefficient instrumental théoriquement indépendant du climat. On a commencé à le vérifier dans des climats de régions très différentes. α ([2]) a été déterminé à Versailles en 1958 et 1959, à partir des données expérimentales fournies par des évapotranspiromètres. Le terme correctif $\lambda(\theta)$ explique les fluctuations du rapport ETP/E_a signalées par divers auteurs et les égalités posées entre ETP et R_n mettent en évidence la manière dont E_a est reliée à R_n.

Cette formule, qui permettrait les études microclimatiques, n'est cependant valable que si l'on ne s'éloigne pas sensiblement des hypothèses de départ : état final, après un cycle de 24 h, identique à l'état initial et évaporation réelle égale à ETP.

Ainsi un brusque changement de temps introduit pour un jour déterminé une erreur par excès ou par défaut, mais cette cause de fluctuation tend à s'éliminer d'elle-même pour des périodes de durée plus longue. Par contre, dans le cas particulier des zones arides où l'évapotranspiration réelle est très inférieure à ETP, la formule proposée surestime cette dernière. Le coefficient α est alors trop élevé.

Malgré ces réserves le fait que, en zone humide, ce coefficient demeure constant confirme la validité de l'équation (2) et montre que l'évapotranspiration potentielle doit être considérée comme un véritable facteur climatique.

(*) Séance du 29 août 1960.

(1) $\lambda(0°) = 1,82$; $\lambda(10°) = 2,36$; $\lambda(20°) = 3,49$.

(2) $\alpha \neq 0,37$ (évaporomètre Piche sous abri anglais à 2 m du sol).

(Station Centrale de Bioclimatologie, I. N. R. A.)

ENTOMOLOGIE. — *Biologie et morphologie larvaire du* Trichaphænops gounelli *Bedel* (*Coléoptère Trechinæ*). Note (*) de Mme **Sylvie Deleurance**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

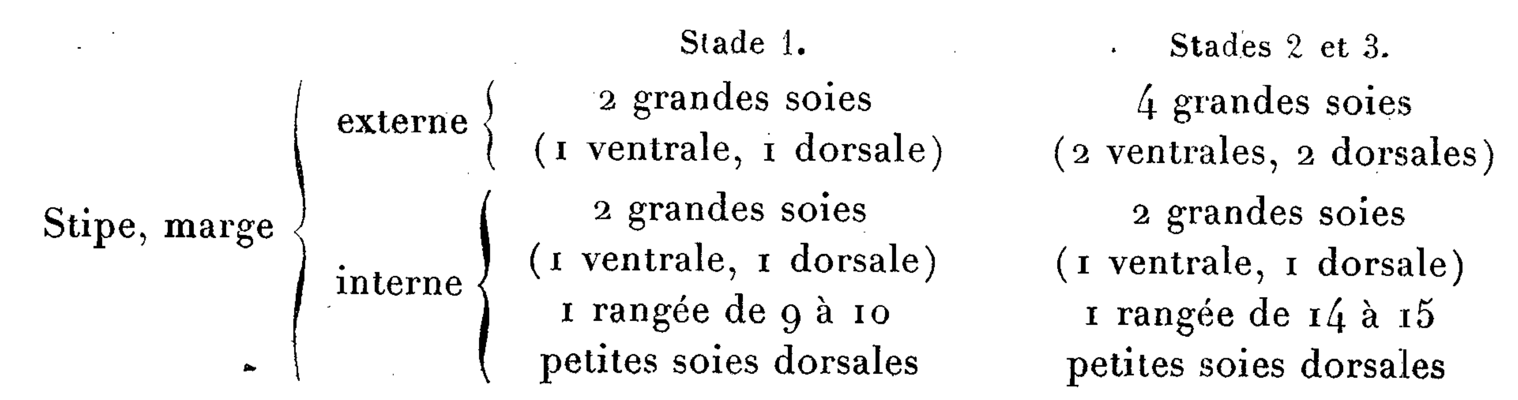
Un couple de *Trichaphænops gounelli* recueilli dans la grotte de Birbaret au cours d'une mission au Vercors en juillet 1957 fut mis en élevage à 8° C au Laboratoire d'Évolution (Paris). La femelle a vécu 11 mois, le mâle 16 (1). Une dissection effectuée après sa mort, a montré que la femelle possédait encore des ovaires bien fonctionnels, avec œufs mûrs oligolécithes. Les premières larves *observées* apparurent en mai. Étant donné que l'incubation dure 2 mois, le ponte avait donc débuté *au plus tard* en mars; elle n'avait pas cessé depuis. Nous avons recueilli 10 larves. Ce chiffre doit être regardé comme un minimum, car un certain nombre d'œufs et de larves furent sans doute dévorés. Le recoupement de nos observations permet d'apporter quelques précisions sur le cycle évolutif. La larve mue *au moins* deux fois. Les stades 1 et 2 sont d'égale durée : une soixantaine de jours. Dans chaque cas, la larve ne s'alimente que pendant la première moitié de ce temps. Aucune d'elles n'a vécu au-delà du stade 3. A la différence des Bathyscinæ, le *Trichaphænops* ne construit pas de logette de mue.

Nous donnons ci-après l'essentiel de la morphologie larvaire. Notons qu'à part la taille, les stades 2 et 3 sont très voisins mais bien différents du stade 1.

Les larves sont aveugles. A leur naissance, elles ont très peu de matières de réserves. Le corps est filiforme, avec une tête volumineuse. Elles sont vives et voraces.

La tête, ovoïde au stade 1, devient rectangulaire aux suivants. Elle présente deux carènes longitudinales aux faces latéro-dorsales antérieures du crâne. Sutures normales. Chétotaxie : stade 1, 10 soies dorsales et 9 ventrales; autres stades, 14 dorsales et 16 ventrales. Antennes sans aucun caractère remarquable, si ce n'est la forme de la vésicule hyaline, ovale au premier stade, s'épaississant aux autres. Aux stades 2 et 3, le deuxième article antennaire s'orne d'une soie dorsale sur la marge interne. La forme du nasal est spécifique. Chez la larve jeune il est anguleux, la partie saillante finement crénelée sur les bords (12 dents majeures). Aux stades ultérieurs il devient nettement trilobé. Le lobe médian, acuminé, porte à sa base 5 à 6 dents; les lobes latéraux possèdent 2 à 3 dents. Les caractères des mandibules sont constants. Longues et arquées elles présentent un rétinacle épais, court et crochu.

Les maxilles correspondent rigoureusement au type Trechinæ : les palpes ont cinq articles. Formule chétotaxique du stipe comme suit :



		Stade 1.	Stades 2 et 3.
Stipe, marge	externe	2 grandes soies (1 ventrale, 1 dorsale)	4 grandes soies (2 ventrales, 2 dorsales)
	interne	2 grandes soies (1 ventrale, 1 dorsale) 1 rangée de 9 à 10 petites soies dorsales	2 grandes soies (1 ventrale, 1 dorsale) 1 rangée de 14 à 15 petites soies dorsales

Le labium est également conforme au type Trechinæ; les palpes ont 4 articles, 1 basal et 3 apicaux distincts; la partie apicale de la pièce impaire porte deux fortes soies médianes, chacune d'elles flanquée à sa base d'une petite soie. Chétotaxie : stade 1, deux paires de soies dorsales, une paire de ventrales et deux paires de pores ventraux; aux stades 2 et 3 s'y ajoutent trois paires de soies latérales.

En ce qui concerne les cerques on notera qu'ils sont d'un tiers plus longs que le tube anal. Leur chétotaxie diffère avec le stade; au premier, ils portent 3 soies dorsales, 2 ventrales et 1 apicale, courte; aux autres ils s'ornent de 7 à 8 soies marginales.

Remarques. — *a.* La larve de *Trichaphænops gaudini* Jeann. décrite par Jeannel ([2]) diffère de la nôtre sur deux points : elle possède deux articles apicaux au palpe maxillaire ([3]), et une ligule longue et cornée.

b. Il semble que dans son étude sur *Trechus*, E. Leitner ([4]) se soit méprise dans l'attribution des stades. En effet, d'après cet auteur les stades 1 et 2 sont semblables, seul le stade 3 diffère. Or, selon nos observations, les stades 2 et 3 sont semblables; c'est le stade 1 qui diffère.

(*) Séance du 5 septembre 1960.
(1) C'est notre plus longue survie en élevage pour un Trechinæ.
(2) *Notes Biospéologiques*, 7, 1952.
(3) Un examen approfondi, notamment de l'exuvie larvaire, nous permet de préciser que chez l'*Aphænops* il y a également trois articles apicaux.
(4) *Zool. Jahrb. Abt. Anat. u. O.*, Bd. 68, H. 3, p. 227-272.

PHYSIOLOGIE. — *Identification du sulfate de cortisol dans l'urine humaine après administration de cortisol.* Note de M. **Jorge R. Pasqualini**, présentée par M. Robert Courrier.

Après administration de 300 mg de cortisol à un sujet normal les sulfo- et glucuroconjugués ont été séparés par chromatographie sur alumine. La présence dans la fraction sulfate du 21-sulfate de cortisol a été démontrée :

a. par chromatographie dans trois systèmes différents contre du 21-sulfate de cortisol;

b. par chromatographie du cortisol libéré par la sulfatase, dans deux systèmes;

c. par chromatographie du stéroïde acétylé contre l'acétate de cortisol.

Dans un travail antérieur, nous avons établi que la corticostérone était principalement excrétée dans les urines humaines sous la forme de 21-sulfate de corticostérone ([1]). Au cours de ces mêmes recherches, nous avons trouvé que le cortisol se répartissait également entre les trois fractions : libre, sulfoconjuguée et glucuroconjuguée ([2]), ([3]).

Le but de ce travail a été de confirmer la présence dans l'urine de sulfate de cortisol; à cet effet, nous avons administré à un homme normal 300 mg de cortisol par voie buccale en six prises pendant 24 h et les urines de 36 h ont été recueillies.

Les corticostéroïdes libres et conjugués ont été extraits des urines par le *n*-butanol, à pH 7, additionnées de 5 % de ClNa, 3 fois, v/v; les corticostéroïdes libres ont été extraits par le dichlorométhane et les corticostéroïdes conjugués ont été séparés sur alumine en fractions sulfo- et glucuroconjuguées.

La fraction ester-sulfate a été purifiée et soumise à un fractionnement chromatographique sur papier dans le système : I. alcool isoamylique-hexane (40-10)/NH_4OH conc. eau (28-22) ([4]) en utilisant du 21-sulfate de cortisol comme standard. La région correspondant à ce dernier a été rechromatographiée successivement dans les systèmes : II. Acétate de butyle-toluène-butanol (50-40-10)/acide acétique 10 %-méthanol (50-50) ([5]) et III. acétate de butyle-toluène-butanol (60-30-10)/NH_4OH 4N-méthanol (50-50) ([5]).

Les taches ont été révélées par la méthode au bleu de méthylène ([6]) qui paraît spécifique des ester-sulfates. Dans les trois systèmes considérés, nous avons trouvé une tache ayant la même migration que le 21-sulfate de cortisol synthétique.

Cette zone du troisième chromatogramme a été éluée et nous avons pratiqué sur les conjugués élués : d'une part, une hydrolyse par la sulfatase purifiée et, d'autre part, une solvolyse.

Le stéroïde libéré par la sulfatase a été chromatographié contre du cortisol, dans les systèmes chloroforme/formamide et acétate d'éthyle-

toluène (1-9)/méthanol-eau (5-5) et, après acétylation, dans le système toluène/propanediol.

Le stéroïde provenant de la solvolyse a été chromatographié dans le deuxième système.

Dans les deux cas, nous avons mis en évidence une seule tache présentant une absorption à 254 mμ, donnant une réaction positive au bleu de tétrazolium et devenant fluorescente après traitement alcalin à chaud. Ce stéroïde libéré, comme son acétate, présentait la même migration que le cortisol et l'acétate de cortisol chromatographié en parallèle.

Une fraction de l'éluat du troisième chromatogramme a été soumise à une électrophorèse dans le tampon borate à pH 8,7, pendant 15 h (100 V et 4 mA), en parallèle avec du sulfate de cortisol de synthèse.

La région de l'extrait urinaire correspondant à ce dernier présentait comme lui, une absorption positive à 254 mμ, une réaction au bleu de tétrazolium négative et une fluorescence positive à la soude, en lumière de Wood.

Après élution de cette zone et solvolyse, le stéroïde libéré avait la même migration que le cortisol dans le système chloroforme/formamide et les mêmes caractéristiques d'absorption à 254 mμ, réaction au bleu de tétrazolium positive et fluorescence positive.

Conclusions. — L'ensemble de ces données apporte la preuve qu'une partie du cortisol est excrétée sous forme de 21-sulfate. Les premières données semi-quantitatives indiquent qu'il existe 5-10 fois plus de 21-sulfate de cortisol que de cortisol libre après surcharge par ce stéroïde.

(1) J. R. PASQUALINI, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3892.

(2) J. R. PASQUALINI, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2945.

(3) J. R. PASQUALINI, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1929.

(4) G. CAVINA et L. TENTORI, *Clin. Chim. Acta*, 3, 1958, p. 160, modification O. CRÉPY, Communication personnelle.

(5) J. R. PASQUALINI, R. ZELNIK et M. F. JAYLE, *Experientia*, 16, n° 7, 1960, p. 317.

(6) O. CRÉPY et O. JUDAS, *Rev. Franç. Et. Clin. Biol.*, 5, 1960, p. 285.

NEUROPHYSIOLOGIE. — *Réponses visuelles et acoustiques au niveau du complexe ventromédian postérieur du thalamus chez le Chat.* Note de MM. **Pierre Buser** et **Jan Bruner**, présentée par M. Maurice Fontaine.

Il a été antérieurement signalé (1), (2), (3) l'existence, chez le Chat, de réponses à la stimulation visuelle et auditive au niveau du groupe ventromédian du thalamus. De tels foyers d'activité ont en particulier été identifiés au niveau du centre médian et de la lame médullaire interne, c'est-à-dire dans des ensembles qui sont considérés comme appartenant au système des noyaux thalamiques à « projection diffuse » tel qu'il a été délimité physiologiquement (4).

Ayant de notre côté (5) décrit des foyers d'activité visuelle et acoustique, également étrangers à la voie sensorielle primaire, dans une région thalamique distincte de la précédente, c'est-à-dire dans les noyaux « associatifs » constitutifs du groupe latéral postérieur (noyau postérieur, noyau latéral postérieur, noyau pulvinarien), il nous a paru souhaitable, dans un but de comparaison de ces deux catégories de réponses « extra-primaires », de connaître plus en détail les caractéristiques des activités sensorielles recueillies au niveau postérieur du groupe ventromédian.

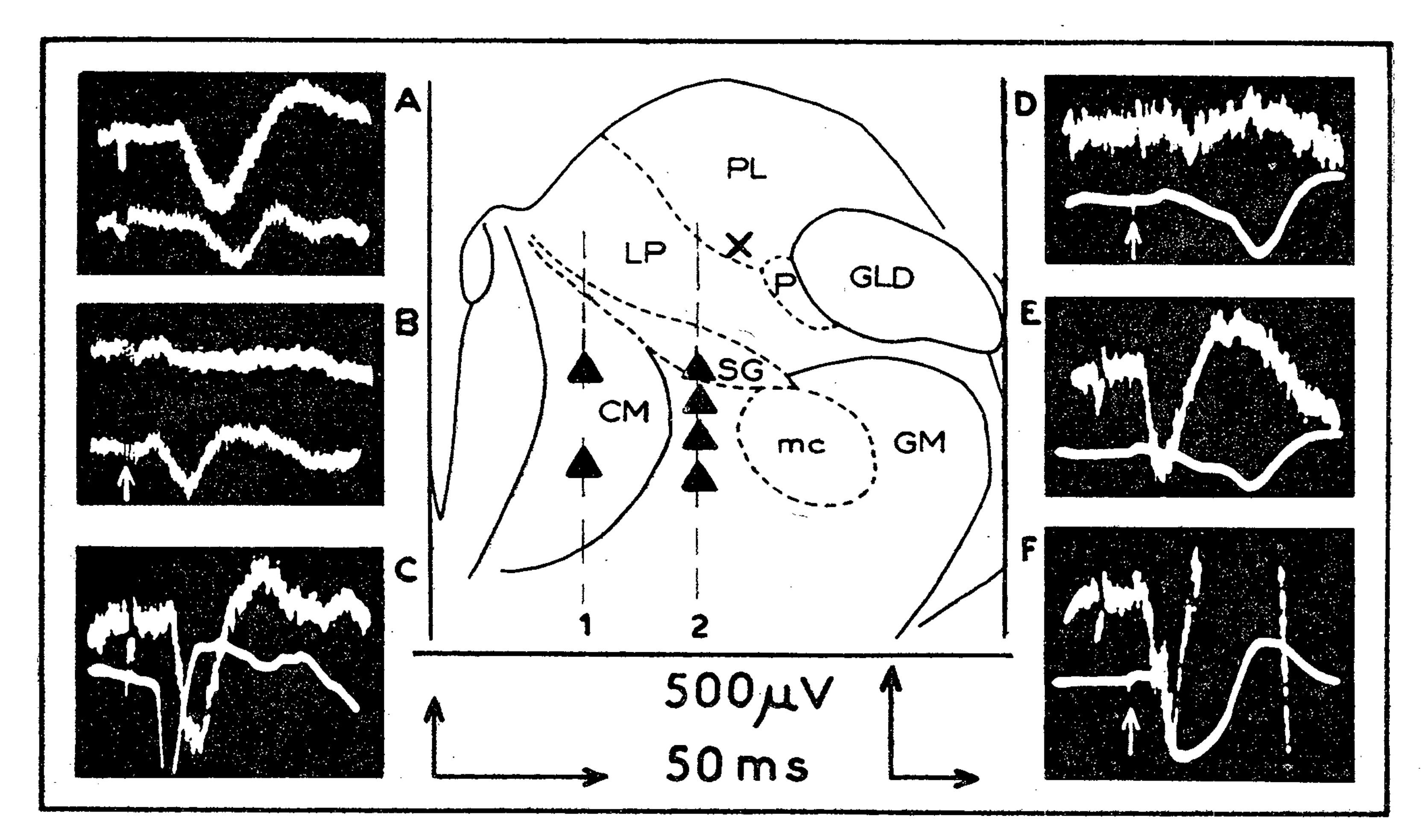
Les expériences décrites ici sont effectuées dans les mêmes conditions que celles portant sur le groupe latéral postérieur, c'est-à-dire sous anesthésie profonde au chloralose. Les explorations sous-corticales sont obtenues par électrodes bipolaires concentriques fines (diamètre, 0,5 mm). Les stimulations lumineuses (éclairs brefs, intenses et parfaitement insonores d'une lampe à néon), et acoustiques (clics), sont appliquées à cadence lente (1 par 5 secondes). Les positions d'électrodes sont localisées sur coupes frontales à congélation (100 μ), colorées au Nissl.

Dans les conditions expérimentales choisies, des réponses visuelles et acoustiques peuvent être recueillies en certains points du centre médian (6) (en particulier sa périphérie dorsale, latérale ou ventrale) et tout autant dans une région qui le limite latéralement, ainsi que dans celle, plus postérieure, qui limite le mésencéphale (pretectum et noyau de la commissure postérieure). Anatomiquement, cette région limitrophe, de structure complexe, marque la transition avec le groupe postérieur tel qu'il a été récemment défini (7), (8), c'est-à-dire comportant le noyau suprageniculé, le noyau postérieur de Rioch (9) et se raccordant au groupe magnocellulaire du corps genouillé médian.

Un certain nombre de particularités de ces réponses ventromédianes sont, d'autre part, à considérer. Pour la vision, la différence de latence est sensible entre celles-ci et les réponses du complexe latéral postérieur

(25 à 40 ms dans un cas, 15 à 20 ms dans l'autre) ([5]). Pour l'audition, ces écarts se sont révélés moins nets, les valeurs absolues des délais étant notablement plus faibles. Une autre caractéristique des réponses médianes est leur sensibilité aux actions dépressives, qui a paru plus importante encore que pour celles du thalamus associatif.

Très fréquemment, enfin, les points actifs du niveau médian répondent tout à la fois aux stimulations visuelles et acoustiques. Dans ces cas peuvent s'observer d'importants phénomènes de facilitation mutuelle résultant de l'application en succession et avec un intervalle approprié (12 à 15 ms), d'un stimulus lumineux puis sonore (*fig.* D, E et F). De telles interactions dynamiques, révélatrices de convergences entre projections



A. Réponses thalamiques à la stimulation lumineuse, simultanément recueillies, pour le tracé supérieur, dans le groupe latéral postérieur (point du schéma repéré par une croix), pour le tracé inférieur dans le centre médian (triangles figurant sur la trace de descente médiane 1).

B. Même expérience; tracés obtenus aux mêmes niveaux de dérivation pour une stimulation acoustique. Absence de réponse au niveau du groupe associatif; réponse caractéristique au niveau médian.

C. Autre expérience; réponses visuelles recueillies, *en haut*, à la limite du groupe nucléaire postérieur (triangles figurant sur la trace de descente 2), *en bas*, sur le cortex associatif suprasylvien ipsilatéral.

D, E, F. Même expérience qu'en C; même enregistrement thalamique avec cette fois dérivation sur le cortex moteur ipsilatéral. Application, en D, d'un clic d'intensité réduite, en E, d'un éclair; en F, combinaison des deux stimulations.

Les niveaux d'enregistrement sont repérés sur un schéma frontal du thalamus droit, et les points actifs du thalamus médian localisés, pour ces deux expériences précises, par des triangles.

CM, centre médian; GM, corps genouillé médian et sa portion magnocellulaire, *mc*; GLD, corps genouillé latéral; PL, pulvinar; SG, P, LP, respectivement, noyaux suprag géniculé, postérieur et latéral postérieur.

Les étalons de gauche valent pour les tracés A et B, ceux de droite pour les enregistrements C, D, E et F.

appartenant aux deux modalités distinctes, sont pratiquement beaucoup plus discrètes au niveau latéral postérieur, où les points, le plus souvent, ne répondent qu'à l'une ou l'autre des deux modalités (à l'exploration par électrodes de grand diamètre tout au moins) (*fig.* A et B).

Confirmant en cela des hypothèses antérieures ([10]), divers arguments suggèrent que les projections thalamiques ventromédianes sont sur la voie acheminant les influx visuels et acoustiques vers le cortex moteur ([3]) et responsable de la mise en jeu, par des stimulus sensoriels correspondants, de la voie pyramidale ([11]). On sait tout d'abord que la stimulation électrique de cette zone thalamique médiane active par réverbération au niveau cortical, la voie pyramidale ([12]). La latence de ces réponses thalamiques est, d'autre part, inférieure à celle des réponses recueillies simultanément au niveau du cortex moteur, mais non à celles des réponses du cortex associatif, qui sont souvent plus précoces (*fig.* C et E). De plus, des variations simultanées d'amplitude, sous l'influence de facteurs divers (intensité du stimulus, dépression) sont assez suggestives d'un rapport direct entre les deux catégories de réponses, celles du thalamus médian et celles du cortex moteur. Enfin, les importantes facilitations intersensorielles observables au niveau thalamique le sont également sur le cortex moteur et dans la voie pyramidale (*fig.* D, E et F). Cette donnée semble d'ailleurs résoudre la question, laissée ouverte précédemment ([11]), ([13]), du niveau où s'opèrent ces interactions facilitatrices, puisque, pour la combinaison son-lumière, celles-ci peuvent s'observer dès l'étage thalamique.

Ainsi, en raison de leurs caractéristiques chronologiques et dynamiques, les projections visuelles et acoustiques identifiées au niveau du thalamus ventromédian postérieur chez le Chat, sont-elles susceptibles de se situer sur la voie de passage de ces influx sensoriels vers le cortex moteur.

(1) P. Dell, *J. Physiol.*, Paris, 44, 1952, p. 471-557.
(2) D. H. Ingvar et J. Hunter, *Acta Physiol. scand.*, 33, 1955, p. 194-218.
(3) Y. M. Liu et E. Shen, *Acta Physiol. Sinica*, 22, 1958, p. 104-118.
(4) H. Jasper, *E. E. G. clin. Neurophysiol.*, 1, 1949, p. 405-420.
(5) P. Buser, P. Borenstein et J. Bruner, *E. E. G. clin. Neurophysiol.*, 11, 1959, p. 305-324.
(6) Fait également signalé tout récemment par D. Albe-Fessard et A. Mallard (*Compte-Rendus*, 251, 1960, p. 1940).
(7) J. E. Rose et C. N. Woolsey, in *Biological and biochemical basis of behavior*, University of Wisconsin Press, 1958, p. 127-149.
(8) G. F. Poggio et V. B. Mountcastle, *Bull. Johns Hopk. Hosp.*, 106, 1960, p. 266-316.
(9) D. McK Rioch, *J. comp. Neurol.*, 53, 1931, p. 319-388.
(10) J. Hunter et D. H. Ingvar, *E. E. G. clin. Neurophysiol.*, 7, 1955, p. 39-60.
(11) P. Buser et P. Ascher, *Arch. ital. Biol.*, 98, 1960, p. 123-164.
(12) P. Buser et A. Roger, 1961 (en préparation).
(13) P. Buser et M. Imbert, in *Symposium on Sensory Communications*, Boston, 1959 (sous presse).

(*Centre de Physiologie nerveuse du C. N. R. S.*)

BIOLOGIE. — *Période d'alimentation et évolution du tube digestif dans l'intermue chez* Scutigerella pagesi *Jupeau* (*Symphyle*). Note de

Mme **Lisianne Juberthie-Jupeau**, transmise par M. Albert Vandel.

Au cours de chaque intermue l'intestin moyen de *Scutigerella pagesi* dégénère et subit une régénération complète. La période d'alimentation commence peu de jours après la mue, lorsque la rénovation de l'intestin moyen est terminée, et cesse quelques jours avant la mue suivante, au début de la dégénérescence de l'épithélium.

Chez les Arthropodes, la régénération épithéliale de l'intestin moyen est un phénomène bien connu, dont l'ampleur et les modalités varient suivant les groupes. Chez les Symphyles, les données relatives à cette question se résument aux observations de Tiegs chez *Hanseniella agilis* [1]; cet auteur a constaté l'existence de régénérations épithéliales, d'une part chez les larves (au moins une par stade et ne coïncidant pas avec l'exuviation), d'autre part chez les adultes, sans avoir pu toutefois, ni préciser leur nombre, ni établir de relation entre ce phénomène et l'exuviation.

Des observations déjà faites sur l'alimentation des Symphyles [2], [3] montrent qu'il existe chez les adultes et larves à 11 paires de pattes une phase se situant au milieu de l'intermue au cours de laquelle les animaux se nourrissent. Nous avons étendu ce comportement aux larves à 8, 9 et 10 paires de pattes chez *Scutigerella pagesi*. Les observations montrent que la durée de la période d'alimentation varie avec le stade de l'animal, et qu'elle est fonction de la durée de l'intermue. Chronologiquement on peut diviser l'intermue en trois périodes : 1° une période sans alimentation durant de 2 à 4 jours et consécutive à la mue; 2° une période d'alimentation de durée variable selon les stades et les individus et en relation avec la durée de l'intermue; 3° une période sans alimentation, plus longue que la première, durant de 6 à 12 jours et précédant la mue suivante.

La régularité de ce phénomène conduit à l'étude du tube digestif et permet d'y constater au cours de chaque intermue une évolution cyclique comprenant la dégérescence puis la régénération totale de l'épithélium de l'intestin moyen, tant chez les larves que chez les adultes.

Le stomodeum et le proctodeum, tous deux de structure épithéliale d'origine ectodermique, recouverts d'une mince couche de chitine, sont comme chez tous les Arthropodes soumis à l'exuviation. La formation de la nouvelle cuticule doit précéder de peu le rejet de l'ancienne.

L'intestin moyen a une évolution très différente. Au début de la période d'alimentation, il est fonctionnel et constitué par un épithélium cylindrique reposant sur une membrane basale entourée d'une tunique musculaire.

La hauteur des cellules épithéliales chez les adultes varie de 15 à 65 μ. Les noyaux sont volumineux et situés à la base des cellules dans les cellules les plus basses, et dans le tiers basal dans les plus hautes; la chromatine y est abondante et régulièrement répartie; ils possèdent un ou deux nucléoles plus ou moins homogènes, de forme et de taille variables. Le cytoplasme des cellules est abondant et présente un aspect fibrillaire; sa portion apicale est en général basophile; un plateau strié est nettement visible, sauf partiellement au niveau des cellules les plus hautes; la partie apicale de celles-ci est fortement vacuolisée et fait saillie dans la lumière du tube digestif; les plus grandes vacuoles semblent s'ouvrir dans la lumière de l'intestin. A l'extrémité antérieure et postérieure du mésentéron se trouvent des zones intermédiaires de passage vers l'œsophage d'une part, vers le rectum d'autre part. La première est constituée d'un anneau étroit de cellules basses, à noyaux clairs, au cytoplasme peu abondant et sans plateau strié. La deuxième située en avant du sphincter pylorique forme un anneau plus étendu et est constituée par des cellules hautes, nombreuses, très tassées, à noyaux clairs situés à des hauteurs variables; ces cellules ne possèdent pas non plus de plateau strié. Ces deux zones, très différentes du reste de l'intestin par leurs caractères cytologiques sont les zones de régénération de l'épithélium intestinal. L'intestin moyen conserve cette structure pendant toute la durée de la période d'alimentation.

Quand l'animal cesse de manger, l'intestin moyen commence à dégénérer; tous les noyaux deviennent basaux et se pycnosent; les cytoplasmes se lysent, le plateau strié s'altère et finalement disparaît. Progressivement l'intestin moyen se détache de sa tunique musculaire sauf dans la région voisine de la zone de régénération postérieure, tandis que les cellules des deux zones de régénération se divisent activement; les mitoses sont particulièrement nombreuses dans la zone postérieure. Un nouvel intestin moyen s'élabore ainsi, les cellules nouvellement formées progressant dans la cavité générale en donnant un épithélium extrêmement plat, de 3 μ de hauteur moyenne. L'ancien épithélium se détache ensuite complètement et flotte dans la nouvelle cavité digestive; les membranes de ses cellules, en général conservées, ne renferment plus de cytoplasme; les noyaux ont perdu leur forme et en partie leur colorabilité.

A la mue, le nouvel épithélium est entièrement formé mais ses cellules sont indifférenciées. Dans la période de repos alimentaire qui suit la mue, alors que l'ancien intestin moyen disparaît, l'épithélium du nouveau devient d'abord cubique puis cylindrique, tandis que le plateau strié apparaît et acquiert son épaisseur normale. Au bout de quelques jours l'épithélium est fonctionnel et l'alimentation reprend.

On constate donc chez *Scutigerella pagesi*, un rythme dans l'alimentation qui reflète les modifications histologiques de l'intestin moyen. La régé-

nération de ce dernier se fait grâce à une véritable crise mitotique qui est par ailleurs chez l'adulte, à peu près contemporaine de celle qui affecte d'autres organes. La localisation des différentes phases de l'évolution de l'intestin moyen dans l'intermue est toujours la même, ce qui semble indiquer sa dépendance étroite vis-à-vis des phénomènes de mue.

(1) *Quart. J. micr. Sc.*, 85, 1945, p. 191-328.
(2) M. G. Savos, *Thèse*, Oregon State College, 1958.
(3) L. Juberthie-Jupeau, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2285.

(Laboratoire souterrain du C. N. R. S., Moulis, Ariège.)

GÉNÉTIQUE. — *Sur le polychromatisme de* Sphæroma serratum (*Fabricius*) *le long du littoral septentrional du Cotentin.* Note de M. **Robert Lejuez**, présentée par M. Louis Fage.

L'étude du polychromatisme des populations de *Sphæroma serratum* a été poursuivie sur le littoral septentrional du Cotentin. Les fréquences phénotypiques et génotypiques ont été calculées pour 21 populations qui, en fonction surtout des fréquences relatives des *albicans* et des *discretum*, peuvent être réparties en deux groupes situés respectivement à l'Ouest et à l'Est de Cherbourg.

L'analyse du polychromatisme des populations de *Sphæroma serratum* (Fabricius) réparties le long du littoral cotentin a été commencée en 1958. Dans deux publications antérieures ([1]), ([2]), j'ai rendu compte des observations effectuées sur la côte occidentale de la presqu'île, où j'avais recueilli 47 247 individus, provenant de 30 stations. J'ai poursuivi ce travail, au cours de l'année 1959, par l'étude des populations de la côte septentrionale : 21 stations, entre Saint-Germain-des-Vaux et Barfleur, ont été prospectées, l'effectif total des échantillons représentatifs correspondants étant de 29 673 sphéromes. On trouvera ci-dessous les résultats préliminaires fournis par cette étude.

Le tableau I indique la liste des stations étudiées, ordonnées d'Ouest en Est, l'effectif *n* des échantillons recueillis, et les fréquences des divers phénotypes ([3]) (*albicans*, A; *discretum*, D; *lunulatum*, L; *ornatum*, O; *signatum*, S; mutants « rouges », R); le tableau II donne la fréquence des allèles dominants.

L'examen des tableaux montre que les cinq phénotypes majeurs et les mutants « rouges » sont présents dans toutes les populations, et que la somme des A + D (variant de 76,33 à 91,13 %) prédomine nettement sur l'ensemble des autres mutants. L'examen des fréquences, et une traduction graphique qui sera publiée ultérieurement, conduisent à reconnaître, sur cette partie de côte longue de 70 km, deux groupes de populations situés l'un à l'Ouest, le second à l'Est de Cherbourg.

Dans le premier groupe (stations 1 à 11), les fréquences des D sont partout supérieures à celles des A (valeurs extrêmes : D = 64,44 pour la station 5, A = 21,93 pour la station 8); les fréquences moyennes des A et D, pour ces onze premières populations, sont très différentes l'une de l'autre : 28,41 pour A; 52,15 pour D. Le second groupe de populations (stations 12 à 21) se caractérise par la prédominance des A sur D dans la plupart des stations, avec comme fréquences extrêmes 56,20 (station 19) pour A et 26,14 (station 18) pour D; les fréquences moyennes pour ces dix dernières populations sont 45,13 pour A et 39,18 pour D.

Les autres mutants sont beaucoup moins inégalement répartis entre les deux groupes ainsi définis. Les *lunulatum* sont un peu plus abondants

TABLEAU I.

	Stations.	n.	A.	D.	L.	O.	S.	« R ».
1.	Saint-Germain-des-Vaux, A.	2 317	30,64	49,94	5,01	7,90	4,27	2,34
2.	» » B.	1 785	34,06	46,67	4,82	7,06	3,58	3,81
3.	Digulleville	827	27,57	53,08	5,56	5,32	4,72	3,75
4.	Omonville-la-Rogue, A	1 984	27,62	56,20	6,05	4,69	3,23	2,21
5.	» » B	1 503	22,08	64,44	4,39	3,52	3,85	1,72
6.	Éculleville	1 697	25,52	55,39	9,43	5,48	2,83	1,35
7.	Landemer	2 023	23,83	52,50	13,59	5,83	1,09	3,16
8.	Fort-d'Urville	1 610	21,93	56,90	11,99	6,52	0,99	1,67
9.	Nacqueville	1 874	28,71	51,76	11,74	5,44	0,64	1,71
10.	Querqueville	1 621	35,59	41,95	13,76	4,81	0,56	3,33
11.	La Saline	1 026	34,99	44,83	9,36	5,07	2,34	3,41
12.	Les Flamands	1 349	41,37	43,30	8,67	1,33	2,97	2,36
13.	Le Becquet	612	46,73	41,01	6,54	1,48	1,30	2,94
14.	Bretteville, A	780	48,33	36,92	7,31	2,43	1,03	3,98
15.	» B	1 416	38,07	40,18	13,56	2,68	0,91	4,60
16.	Maupertus, A	932	38,41	41,53	14,49	1,93	1,07	2,57
17.	» B	1 737	48,70	42,43	2,88	1,55	1,21	3,23
18.	Cosqueville, A	1 006	52,98	26,14	3,58	5,76	0,60	10,94
19.	» B	1 370	56,20	26,28	3,36	5,26	0,36	8,54
20.	Gatteville (Phare)	1 547	44,47	45,51	3,43	4,91	0,58	1,10
21.	Barfleur	657	36,07	48,56	7,61	5,48	0,30	1,98

TABLEAU II.

	Stations.	D.	L.	O.	S.	« R ».
1.	Saint-Germain-des-Vaux, A.	38,33	2,96	4,31	2,20	1,12
2.	» » B.	35,04	2,85	3,88	1,88	1,92
3.	Digulleville	41,53	3,27	2,94	2,48	1,89
4.	Omonville-la-Rogue, A	42,60	3,43	2,52	1,67	1,12
5.	» » B	49,46	2,44	1,88	1,98	0,86
6.	Éculleville	43,84	5,36	2,90	1,44	0,67
7.	Landemer	44,12	7,86	3,09	0,56	1,59
8.	Fort d'Urville	47,25	6,83	3,40	0,50	0,84
9.	Nacqueville	40,26	6,58	2,82	0,32	0,85
10.	Querqueville	32,24	7,84	2,53	0,28	1,67
11.	La Saline	33,79	5,39	2,72	1,21	1,72
12.	Les Flamands	30,09	4,75	0,70	1,53	1,19
13.	Le Becquet	27,02	3,52	0,77	0,67	1,48
14.	Bretteville, A	24,71	4,03	1,30	0,54	2,01
15.	» B	30,25	7,67	1,43	0,48	2,32
16.	Maupertus, A	30,67	7,98	1,01	0,55	1,29
17.	» B	26,85	1,54	0,81	0,62	1,62
18.	Cosqueville, A	18,17	2,18	3,31	0,33	5,62
19.	» B	17,45	1,97	2,92	0,19	4,36
20.	Gatteville (Phare)	29,69	1,85	2,53	0,29	0,55
21.	Barfleur	34,71	4,21	2,84	0,15	0,99

à l'Ouest de Cherbourg qu'à l'Est, leurs fréquences moyennes partielles pour les deux lots de populations étant 8,70 et 7,14; cependant, la fréquence maximale s'observe à la station 16 (Maupertus A = 14,49) alors que c'est la station immédiatement voisine (Maupertus B) qui offre la fréquence minimale avec 2,88. Les *ornatum* sont, dans l'ensemble, moins abondants que les *lunulatum*; leurs fréquences extrêmes sont 1,33 (station 12) et 7,90 (station 1); les fréquences moyennes pour les deux groupes de populations sont 5,60 et 3,28, la fréquence moyenne générale étant 4,49 : les *ornatum* sont donc un peu plus fréquents sur la portion de côte située à l'Ouest de Cherbourg. Il en va de même pour les *signatum* dont les fréquences moyennes partielles sont respectivement 2,55 et 1,03, la moyenne générale étant 1,83; en gros, les fréquences des *signatum* décroissent de l'Ouest vers l'Est. Les mutants « rouges », enfin, varient en sens inverse et sont plus fréquents à l'Est de Cherbourg; leur fréquence moyenne est 3,36, les fréquences moyennes partielles étant 2,58 et 4,22.

Une comparaison des populations cotentines, septentrionales et occidentales, autorise quelques remarques. Les D sont plus abondants sur le littoral septentrional (moyenne, 45,97 contre 40,44 sur la côte Ouest). Les L, partout présents, y sont moins répandus, la fréquence moyenne étant seulement de 7,95 alors qu'elle atteignait 13,43 sur le littoral occidental. Les O, légèrement plus abondants, renferment, à côté d'*ornatum* typiques, des variantes non encore décrites dont l'étude génétique est en cours. Les S sont faiblement représentés; les « R », enfin, sont plus abondants que sur la côte occidentale et représentés surtout par des *rubrum* et des *aurantiacum*; les *luteum* sont assez rares, sept exemplaires seulement présentant le phénotype caractéristique *luteum-lunulatum* ayant été récoltés.

(1) R. Lejuez, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 659.
(2) R. Lejuez, *Bull. Soc. Lin. Nor.*, 9e série, 10e vol., 1959, p. 39-57.
(3) C. Bocquet, C. Levi et G. Teissier, *Arch. Zool. Exp.*, 87, 1951, p. 245-298.

(Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences, Caen et Laboratoire maritime de Luc-sur-Mer.)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Propriétés inhibitrices d'oxydation manifestées par les détergents anioniques synthétiques en solution : leur interprétation.* Note de MM. **Marc Chambon** et **André Giraud**, présentée par M. René Fabre.

Étude de l'inhibition de l'oxydation de molécules très oxydables (sel de Mohr, phénols, adrénaline) par les alkylsulfates et alkylarylsulfonates détergents : Discussion du mécanisme de cette action.

Au cours d'une récente étude de la pollution des fleuves lyonnais, l'un de nous ([1]) frappé de la discordance entre la forte pollution et, d'autre part, la saturation des fleuves en oxygène et leur faible demande biologique d'oxygène (DBO 5), témoin du retard de l'autoépuration, émit l'hypothèse de la présence d'inhibiteurs d'oxydation dans ces eaux.

Nous pûmes démontrer ([2]) que les détergents alkylarylsulfonates alcalins [sinnopon, dobane ([3]), J. N. sulfonate] exercent, même aux faibles concentrations, un freinage marqué, et surtout les dix premières heures sur la DBO fluviale. L'étude de molécules facilement oxydables (sel de Mohr, phénol, pyrocatéchol, ligninesulfonate de calcium, adrénaline) abandonnées, en solution, à l'oxydation spontanée en présence des alkylsulfates (laurylsulfate, « teepol ») ou des alkylbenzènesulfonates révèle un retard à l'oxydation, très manifeste au début, s'atténuant avec le temps.

Soumettant l'adrénaline à l'oxydation énergique par l'eau oxygénée catalysée au sulfate de cuivre, en solution dans l'eau de Lyon (19° hydrot.) en présence des détergents, la résistance est très nette (tableau I); elle disparaît dans l'eau distillée.

Tableau I.

Effets inhibiteurs d'oxydation des détergents anioniques synthétiques :

1° *Sur l'oxydation spontanée de l'adrénaline.*

	Adrénaline (mg/l)			
	au départ.	après 2 jours.	après 4 jours.	après 6 jours.
Témoin (HCl adrénaline dissous dans 200 ml eau ville Lyon, 19° hydr., flacon plein, 20°C)	200	120	102	95
Témoin + alkylsulfate Na (laurylsulfate Na) 200 mg/l	200	140	109	95
Témoin + alkybenzène sulfonate (dobane J.N. sulfonate) 200 mg/l	200	160	117	96

2° *Sur l'oxydation catalysée de l'adrénaline.*

	Adrénaline (mg/5 ml)	
	au départ.	après 45 mn.
Témoin (ClH adrénaline dissous dans 5 ml eau Lyon, 0,05 ml H_2O_2 50 v, 0,1 ml SO_4Cu à 1 %)	1	0,65
Témoin + laurylsulfate Na (1 mg)	1	0,76
Témoin + dobanesulfonate Na (1 mg)	1	0,80

Nous avons pu établir aussi que, en présence de ces détergents, la diffusion de l'oxygène atmosphérique à travers la surface d'un eau désaérée était ralentie, confirmant les travaux de Lynch [3] sur le retard apporté par les détergents dans le transfert dynamique de l'oxygène. Nous montrons encore (tableaux II et III) que ces anioniques tensioactifs favorisent la libération dans le milieu extérieur de l'oxygène occlus sur des corps inertes (sable, pierre ponce) se comportant à l'opposé de substances « antioxygènes » (acide nordihydroguaiarétique, topanol) consommant de l'oxygène.

TABLEAU II.

Influence des détergents synthétiques anioniques sur la diffusion de l'oxygène atmosphérique dans l'eau désaérée.

	Oxygène dissous (mg/l)	
	au départ.	après 5 jours.
Témoin (500 ml eau dist. bouillie refroidie; becher 55 cm² surface)	1,22	8,90
Témoin + laurylsulfate Na (6 mg/l)	1,22	8
Témoin + dobanesulfonate Na (6 mg/l)	1,22	7,60

TABLEAU III.

Influence des détergents anioniques synthétiques sur le déplacement de l'oxygène adsorbé à la surface des corps solides immergés dans l'eau.

	Oxygène dissous (mg/l)		
	au départ.	après 5 jours.	libéré.
Témoin (eau dist. bouillie 200 ml; ponce pulv. tamis n° 120, 0,25 g, flacon plein, 20°)	1,22	1,21	0
Témoin + dobanesulfonate Na (0,150 mg/l)	1,22	1,52	0,30
» + laurylsulfate Na (0,150 mg/l)	1,88	2,10	0,22
» + teepol (actif) (0,150 mg/l)	1,88	2,18	0,30
			absorbé
» + acide nordihydroguaiarétique (« antioxygène ») (0,150 mg/l)	1,88	1,82	0,06
Témoin + topanol (« antioxygène ») (0,150 mg/l)	1,88	1,80	0,08

Ces phénomènes de protection contre l'oxydation nous semblent proches de ceux qu'on peut observer avec les complexes d'insertion : telle l'absence d'oxydation d'un complexe urée-acide gras polyéthylénique très autoxydable, abandonné à l'air, signalée par Schlenk [4], qui, d'autre part, tient pour vraisemblable que de telles associations puissent se produire en phase liquide [5].

La structure feuilletée plane des micelles de ces détergents anioniques, à longue chaîne hydrocarbonée, envisagée par Dervichian [6] étant généralement admise, on peut concevoir que dans leur solution commune, ces micelles filmogènes d'anions puissent envelopper certaines molécules en

un complexe d'insertion, les isolant d'une façon plus ou moins étanche et transitoire du contact avec d'autres molécules réactives et notamment de l'oxygène dissous.

Ces associations spatiales en solution pourraient être plus ou moins résistantes selon la nature de la molécule insérée ou l'intervention d'affinités électrostatiques, de phénomènes de dissolution ou d'équilibre de phases envisagés par Lawrence (7) dans les phénomènes de détergence. Mais cette enveloppe micellaire extérieure, fragile, pouvant se désagréger, ou même s'oxyder comme dans le cas des alkylsulfates moins résistants aux dégradations biologiques ou oxydatives que les alkylarylsulfonates, rend compte du caractère précaire de cette protection.

Enfin la présence des groupes polaires anioniques aux lisières opposées de la micelle permet d'interpréter le rôle favorisant des eaux dures signalé aussi en d'autres processus intéressant ces tensioactifs [accroissement de la toxicité des alkylbenzènesulfonates (8), renforcement de l'effet Lynch]. Leurs cations divalents Ca^{++}, Mg^{++} peuvent en effet constituer des ponts salins ou même des chélates entre les groupements polaires opportuns de la micelle ou entre ceux-ci et éventuellement d'autres appartenant à la molécule insérée, assurant la solidité plus grande de l'édifice complexe et, par là, une protection en quelque sorte mécanique plus assurée de la molécule insérée. Cette conception valable pour les molécules en solution, le paraît pour les particules immergées, ainsi qu'en témoigne le rejet à l'extérieur des gaz occlus; elle peut rendre compte de la persistance des germes anaérobies en des eaux très oxygénées.

(1) M. CHAMBON, *Bull. Acad. nat. Médecine*, nos 27-28, 1958, p. 727-723; *Revue d'Hygiène et Médecine sociale*, 7, 1959, p. 7-29.

(2) A. GIRAUD, *Étude des propriétés inhibitrices d'oxydation des détergents anioniques synthétiques présents dans les eaux fluviales et affluents urbains* (*Thèse Doct. Pharm.*, Université de Lyon, 1960).

(3) W. O. LYNCH et C. N. SAWYER, *Sewages a Ind. Wastes*, 1954, p. 1193-1205; K. H. MANCY et D. A. OKUN, *J. Water Pollution control Feder*, avril 1960, p. 351-364; W. O. LYNCH et C. N. SAWYER, *ibid.*, janvier 1960, p. 25-40.

(4) A. SCHLENK et R. T. HOLMAN, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 5001-5004.

(5) A. SCHLENK, *Annalen*, 565, 1949, p. 204-240.

(6) D. DERVICHIAN et F. LACHAMPT, *Bull. Soc. Chim.*, 12, 1945, p. 189-206; D. DERVICHIAN, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 28, 1946, p. 433-434.

(7) A. S. C. LAWRENCE, *Nature* (Londres), 183, 1959, p. 1491-1496.

(8) AQUATIC LIFE ADVISORY COMMITTEE, *J. Water Pollution Control Feder.*, janvier 1960, p. 65-82.

(9) Le dobane J. N. sulfonate de sodium, nous a été préparé par les Établissements Chimiotechnic par sulfonation de l'alkylbenzène à chaîne en C_{12}-C_{14} fabriqué par « Royal Dutch-Shell Saint-Gobain ».

(*Laboratoire de Chimie organique et de Toxicologie, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Lyon.*)

IMMUNOLOGIE. — *Mise en évidence des déterminants antigéniques des γ-globulines humaines normales portés par les protéines de Bence-Jones.* Note de M. **Pierre Burtin**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Les γ-globulines humaines dégradées par la trypsine ou la chymotrypsine donnent, en analyse immuno-électrophorétique, plusieurs lignes de précipitation avec des immunsérums antisérum humain normal ou anti-γ-globulines. L'une de ces lignes ne se forme pas lorsque l'immunsérum a été préalablement absorbé avec une protéine de Bence-Jones capable de précipiter avec cet immunsérum. On peut ainsi confirmer la conception selon laquelle les protéines de Bence-Jones portent un déterminant antigénique des γ-globulines normales, ce déterminant antigénique variant selon le groupe immunologique de la protéine de Bence-Jones et le conditionnant.

Des travaux immunologiques récents sur les protéines de Bence-Jones (1) ont confirmé leurs rapports antigéniques avec les γ-globulines normales. Selon l'hypothèse de Scheidegger (2), les protéines de Bence-Jones porteraient un déterminant antigénique des γ-globulines; ce déterminant varierait selon les protéines de Bence-Jones, ce qui expliquerait les différences de réactivité observées entre elles, lorsqu'elles sont étudiées avec un immunsérum anti-γ-globulines normales. Elles se classent en effet sous ce critère, en trois groupes, dont deux importants (1). Pour vérifier cette conception, nous avons procédé à une hydrolyse enzymatique des γ-globulines normales, selon les méthodes mises au point par Lapresle (3) dans l'espoir d'en séparer les déterminants antigéniques, et de retrouver parmi eux ceux portés par les protéines de Bence-Jones.

Nous avons utilisé dans ce travail :

— des préparations de γ-globulines du Centre National de Transfusion sanguine, contaminées par de nombreuses impuretés, et un échantillon purifié de γ-globulines Squibb;

— des protéines de Bence-Jones pures des groupes I et II;

— comme enzymes, la trypsine (Difco) et l'α-chymotrypsine (Worthington) en des quantités de 0,25 à 5 mg pour 10 mg de substrat. L'hydrolyse a été effectuée à un pH voisin de 8, à 37° C, pendant 18 à 24 h. Elle a été arrêtée par de l'ovomucoïde, ou du diisopropylfluorophosphate.

L'importance de la dégradation a été jugée d'après la diminution du précipité obtenu par addition d'acide trichloracétique (concentration finale, 10 %) et par l'analyse immunoélectrophorétique. Divers immunsérums de chevaux antisérum humain normal ont été utilisés pour la révélation immunochimique, tels quels ou absorbés par des protéines de Bence-Jones.

Les résultats ont été les mêmes avec la trypsine et le chymotrypsine, cette dernière agissant en des quantités un peu moindres. Les deux préparations de globulines se sont dégradées indentiquement.

Les précipités obtenus par addition d'acide trichloracétique aux γ-globulines dégradées sont d'importance variable. Par rapport aux témoins ils sont diminués d'environ 15 % pour de petites quantités d'enzyme (0,25 mg de trypsine pour 10 mg de protéine). Puis les valeurs baissent progressivement jusqu'à une diminution d'environ 30 à 35 %, lorsque la quantité d'enzyme passe de 0,5 à 2 mg. Au-delà, quelle que soit la quantité de trypsine ajoutée, le précipité trichloracétique ne change plus.

L'analyse immunoélectrophorétique montre que les γ-globulines dégradées donnent plusieurs lignes de précipitation, de forme et de nombre variables selon le stade de dégradation et l'immunsérum employé

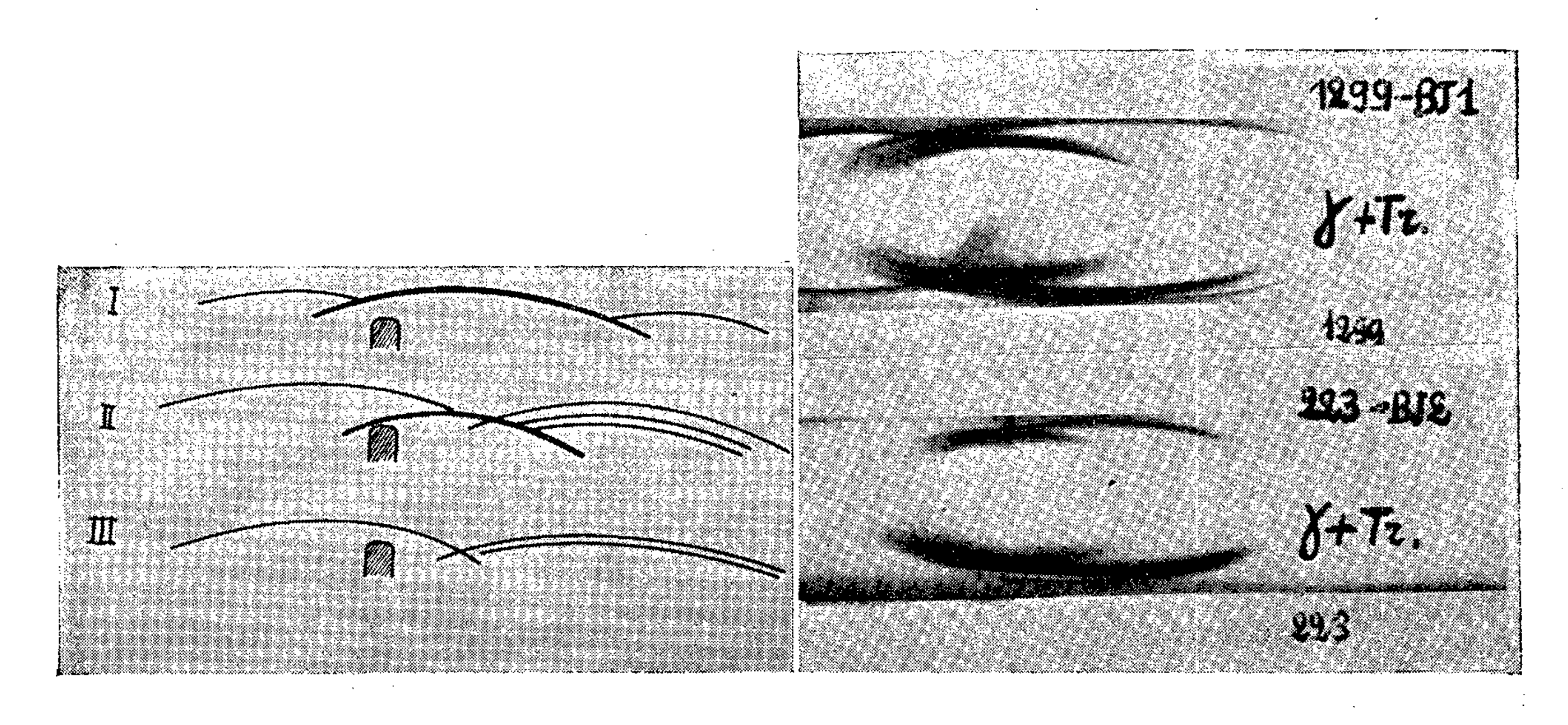


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Schéma des images immunoélectrophorétiques données avec l'immunsérum 1299 par les γ-globulines dégradées aux trois stades (I, II, III).

Fig. 2. — Images immunoélectrophorétiques données par les γ-globulines dégradées par la trypsine (γ + Tr) avec :
— *en haut*, l'immunsérum 1299, entier ou préalablement absorbé par une protéine de Bence-Jones du groupe I (1299-BJ 1);
— *en bas*, l'immunsérum 223 entier ou préalablement absorbé par une protéine de Bence-Jones du groupe II (223-BJ 2).

(aucune de ces lignes ne correspond à une impureté éventuellement contenue dans les γ-globulines).

Avec l'immunsérum 1299, les images obtenues permettent d'individualiser trois stades de dégradation, schématisés sur la figure 1.

1° Au premier stade, correspondant à une diminution du précipité trichloracétique d'environ 15 %, la ligne de précipitation des γ-globulines normales est dédoublée à chaque extrémité par suite de l'existence de lignes supplémentaires, plus proches de la gouttière des anticorps, et donnant ainsi des images d'identité partielle avec la ligne principale.

2° Au deuxième stade de dégradation (diminution du précipité trichloracétique d'environ 25 %) les lignes de précipitation, au nombre de 5,

s'étalent sur une zone électrophorétique étendue, et l'on peut les décrire comme suit :

— il existe tout d'abord une ligne moyenne particulièrement nette et dense;

— une ligne rapide se raccorde à la ligne moyenne sans la croiser, donnant ainsi une image d'identité partielle;

— trois lignes de précipitation lentes, allongées et parallèles, rejoignent la ligne moyenne en la croisant souvent. De ces trois lignes, les deux plus éloignées de la gouttière des anticorps sont parfois superposées.

3° Au troisième stade de dégradation, correspondant à une diminution du précipité trichloracétique d'environ 35 %, la ligne de précipitation moyenne a disparu ou presque. Il reste deux lignes lentes parallèles, et une ligne rapide, croisée ou non par les précédentes.

Lorsqu'on utilise pour la révélation immunochimique l'antisérum 1299 absorbé par une protéine de Bence-Jones du groupe I (le seul groupe avec lequel il réagisse), une ligne de précipitation ne se forme pas : c'est une ligne lente et éloignée de la gouttière des anticorps (*fig.* 2). L'absorption par une protéine de Bence-Jones du groupe II est sans effet.

De même l'immunsérum 223 donne avec les γ-globulines dégradées au deuxième stade quatre lignes de précipitation : l'une d'entre elles manque quand l'immunsérum a préalablement été absorbé avec une protéine de Bence-Jones du groupe II (*fig.* 2). L'absorption avec une protéine de Bence-Jones du groupe I, avec lequel cet immunsérum ne précipite pas, ne modifie pas le diagramme immunoélectrophorétique.

Il est logique d'admettre que les différentes lignes de précipitation données par les γ-globulines dégradées correspondent aux déterminants antigéniques — ou groupes de déterminants — séparés par l'hydrolyse enzymatique. On peut ainsi dénombrer, au moins dans une certaine mesure, ces déterminants antigéniques. On peut surtout, grâce aux épreuves d'absorption des antisérums, repérer les déterminants antigéniques portés par les protéines de Bence-Jones. Il semble bien qu'à chacun des deux principaux groupes de protéines de Bence-Jones corresponde un déterminant antigénique différent, très probablement unique, puisqu'une seule ligne de précipitation manque après emploi de l'immunsérum absorbé dans le diagramme immunoélectrophorétique donné par les γ-globulines dégradées.

(1) P. Burtin, L. Hartmann, R. Fauvert et P. Grabar, *Rev. Franç. Et. Clin. Biol.*, 1, 1956, p. 17.

(2) J. J. Scheidegger et C. Buzzi, *Rev. Franç. Et. Clin. Biol.*, 2, 1957, p. 895.

(3) C. Lapresle, *Ann. Inst. Pasteur* 89, 1955, p. 654.

La séance est levée à 15 h. 25 m.

R. C.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 26 SEPTEMBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

NOTICES NÉCROLOGIQUES.

Notice nécrologique sur FREDERICK J. M. STRATTON, par M. **ANDRÉ DANJON.**

FREDERICK JOHN MARRIAN STRATTON, né à Birmingham le 16 octobre 1881, est mort à Cambridge (Angleterre) le 2 septembre 1960. Il avait été élu Correspondant de notre Académie le 31 mars 1947. Il était Correspondant du Bureau des Longitudes depuis 1946, et Membre de la *Royal Society* depuis 1947.

Avant d'entreprendre l'étude des novæ qui constitue son œuvre maîtresse, F. J. M. Stratton avait publié plusieurs Mémoires sur des problèmes d'Astronomie fondamentale ou de Mécanique céleste, notamment sur la libration physique de la Lune, sur les mouvements propres des étoiles faibles des Pléiades, sur une hypothèse de Seeliger relative à l'avance du périhélie de Mercure, alors inexpliquée. Son premier travail, publié en 1906, a pour titre : *Sur l'inversion planétaire.* Il suscita un vif intérêt, et l'on peut encore en recommander la lecture aux spécialistes de la cosmogonie du système solaire : ils y trouveront une leçon de modestie, de modération et de circonspection d'autant plus méritoire qu'elle est donnée par un chercheur de 25 ans dont les premiers pas se sont aventurés sur un terrain neuf et qui cependant conserve un jugement froid. « Toute la théorie est de nature spéculative, écrit-il en guise d'avertissement. Elle ne doit sa forme affirmative (*their emphatic form*) qu'à mon désir d'éviter l'emploi continu du mode conditionnel. » Le problème de l'inversion planétaire avait été posé à la suite de la découverte de Phœbé, le IXe satellite de Saturne, dont le mouvement orbital est rétrograde. Cette exception à une règle qu'on croyait générale occupait maints esprits. Pour W. H. Pickering, la rotation initiale des planètes avait dû être rétrograde, mais leurs axes de rotation avaient lentement basculé sous l'effet du frottement des marées, ce qui avait amené le système solaire à son état actuel où les translations et les rotations planétaires sont de même sens. Toutefois,

les satellites les plus éloignés, formés les premiers, continuaient à graviter dans le sens primitif, c'est-à-dire à rétrograder. Il s'agissait, pour F. J. M. Stratton d'examiner si cette vue de l'esprit était compatible avec la théorie des marées de son maître Sir George Darwin : problème nouveau, dont il souligne à chaque page de son Mémoire les difficultés et les incertitudes. Il conclut que la théorie de l'inversion planétaire est soutenable sous les mêmes conditions que la théorie de Darwin elle-même; qu'elle serait renforcée par la découverte de satellites lointains d'Uranus et de Neptune si leur mouvement était rétrograde comme celui de Phœbé, mais qu'elle serait infirmée dans le cas contraire. Il termine sur cette phrase : « La théorie reste quant à présent une théorie spéculative, qui, d'une manière générale, s'appuie bien sur la théorie du frottement des marées, et qui donne la seule explication actuellement connue de certains faits. » L'habileté mathématique, la maturité d'esprit, la clairvoyance et, tranchons le mot, le bon sens dont ce jeune auteur venait de faire preuve pourraient faire regretter qu'il n'ait pas persévéré dans la même direction, après ce début prometteur.

Il s'en écarta bientôt, pour se consacrer à l'astronomie physique, et plus particulièrement à l'étude du Soleil et des novæ. En 1913, il fut nommé directeur-adjoint du *Solar Physics Observatory*, à Cambridge, et lecteur d'Astrophysique à l'Université. Il fut titularisé comme professeur d'Astrophysique et comme directeur de l'Observatoire en 1928. F. J. M. Stratton prenait à cœur cette double tâche d'enseignement et de direction de recherches. Il publia en 1925, sous le titre : *Astronomical Physics* un exposé complet et bien à jour de l'état des connaissances à la fin du premier quart de ce siècle.

En Physique solaire, F. J. M. Stratton s'intéresse plus spécialement aux éclipses totales; il observe celles de 1926, 1929, 1932 et 1939. Avec quelques collaborateurs, il publie en 1928 les premières mesures spectrophotométriques cohérentes du spectre-éclair et de la couronne. On lui doit aussi divers travaux de Spectroscopie solaire ou stellaire, notamment sur les multiplets du nickel, du cobalt et du fer ionisé. Il est revenu à deux reprises au moins sur le mouvement en latitude des taches solaires.

Les observations qu'il fit en 1912 de *Nova Geminorum* fixèrent son attention sur ce qu'on appelle aujourd'hui le phénomène de nova. On ne peut analyser ici tous les Mémoires parus sur les novæ brillantes dans les Annales du *Solar Physics Observatory* : cette œuvre considérable qui porte sur une classe d'étoiles où règne une grande diversité est avant tout descriptive, l'interprétation n'avançant que pas à pas (elle est bien loin d'être achevée). Cependant, F. J. M. Stratton a dégagé une loi simple, qui régit les fluctuations des novæ : quand l'éclat de l'étoile augmente, son spectre évolue vers celui d'un état antérieur plus brillant, le spectre étant en fait une simple fonction de la magnitude. C'est ce que Mac Laughlin a appelé la règle de Stratton.

C'est à ce maître incontesté que fut confiée la rédaction du chapitre des novæ du *Handbuch der Astrophysik*. Ses monographies, et surtout l'Atlas où il a rassemblé tous les spectres de *Nova Herculis* 1934 obtenus de par le monde, constituent des instruments de travail classiques pour tous les spécialistes.

F. J. M. Stratton a passé la plus grande partie de sa vie à Cambridge, au *Gonneville and Caius College*, d'abord comme étudiant, puis comme *fellow*; président de 1946 à 1948, il continua à y demeurer comme *senior fellow* après son admission à la retraite. Il avait dû le quitter une première fois pour faire, en France, la campagne de 1914-1918. Le Colonel Stratton était justement fier de son grade et des distinctions dont il avait été jugé digne : Distinguished Service Order et croix de la Légion d'honneur. Il reprit volontairement du service au cours de la seconde guerre mondiale, et se vit confier d'importantes missions au Canada, aux États-Unis, en Nouvelle-Zélande, en Australie et aux Indes.

Sa personnalité était l'une des plus attachantes qu'on pût rencontrer. Polyglotte et grand voyageur, il s'était fait partout des amis. C'était une figure caractéristique de l'Astronomie d'entre les deux guerres, aussi a-t-il tenu un rôle de premier plan dans les organisations scientifiques mondiales. La cordialité de son accueil, mais aussi la netteté de ses vues lui avaient valu une autorité indiscutée. Il aura été le dernier survivant de la Conférence tenue à Bruxelles en 1919, où fut constituée l'Union Astronomique Internationale, et il n'aura manqué aucune de ses dix premières Assemblées générales, de 1922, à Rome, à 1958, à Moscou. Il en fut le Secrétaire général de 1925 à 1935. C'est à lui, principalement, que l'Union Astronomique doit sa robuste constitution et la cohésion qui fait sa force. Lorsque l'Union décida de créer une Commission pour l'échange des astronomes, la présidence lui en fut tout naturellement attribuée, tant était grande sa connaissance des hommes et des choses. Deux jours avant sa mort, bien qu'il souffrît depuis plusieurs mois du mal qui allait l'emporter, il expédiait encore les affaires de cette Commission. Il aura servi l'Astronomie jusqu'au bout.

Il rendit aussi d'éminents services au Conseil International des Unions scientifiques, dont il fut Secrétaire général de 1937 à 1952. Ennemi de la paperasserie, il était resté fidèle à l'usage ancien d'écrire à la main toute sa correspondance et de répondre par retour du courrier. Ce fin psychologue se serait bien gardé d'interposer une machine entre sa propre pensée et celle du correspondant qu'il s'agissait de persuader. C'est avec cette simplicité de moyens, mais grâce à un travail personnel assidu, qu'il exerça ses fonctions de secrétaire général, et qu'il fit accepter son autorité souriante mais efficace. Il m'écrivait en 1957 : « l'U. A. I. et le C. I. U. S. ont tenu une large place dans ma vie et j'espère assister encore à l'Assemblée générale de Moscou ». Il y fut acclamé.

Déjà, F. J. M. Stratton avait pu mesurer l'étendue et la profondeur de sa popularité lorsque Arthur Beer avait proposé de lui dédier un recueil de Mélanges. Cet Ouvrage en deux gros volumes, qui parut en 1955 sous le titre *Vistas in Astronomy*, renferme 192 articles auxquels ont contribué 215 auteurs appartenant à 26 nations! Cet hommage universel d'admiration, d'affectueux respect et de gratitude s'adressait au savant, ainsi qu'au professeur et au directeur à qui tant de jeunes astronomes avaient dû leur formation; mais il s'adressait encore au bon artisan de la coopération scientifique internationale dont F. J. M. Stratton était devenu le vivant symbole.

PRÉSENTATION DE SAVANTS ÉTRANGERS.

M. **René Fabre** signale la présence de M. **Ernst Boris Chain**, de l'Institut national de Santé de Rome, Prix Nobel, et celle de M. **Carlos Chagas**, Directeur de l'Institut de Biophysique de Rio de Janeiro. M. le Président leur souhaite la bienvenue et les invite à prendre part à la séance.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

L'Académie est informée :

— des Cérémonies qui auront lieu à Milan, les 1er, 2 et 3 octobre 1960, en l'honneur du cinquantième anniversaire de la mort de **Giovanni Virginio Schiaparelli**, qui fut Associé étranger de l'Académie;

— de la réunion d'une **Conférence internationale de la mesure**, qui aura lieu à Budapest, du 26 juin au 1er juillet 1961.

Sir **Gavin de Beer** adresse en hommage à l'Académie la troisième partie de ses *Darwin's notebooks on transmutation of species.*

Les Ouvrages suivants sont présentés :

par M. **Pierre Tardi** : Publications techniques de l'Institut géographique national. *L'examen stéréoscopique des photographies aériennes* (*Théorie et pratique*), par le Général Louis Hurault. Tomes I et II. Annexe I : *Planches et anaglyphes*; Annexe II : *Collection de photographies*;

par M. **Philibert Guinier** : *Précis de Pédologie*, par M. Philippe Duchaufour.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Antoine Delattre et Raphaël Fenart. *L'hominisation du crâne.*

2° Robert Nègre. *Les diplotaxis du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie.*

3° Commissariat à l'énergie atomique. *Étude de la diffusion inélastique de particules α à moyenne énergie*, par MONIQUE CRUT (Thèse, Paris).

4° Service d'information géologique du Bureau de Recherches géologiques et minières. *Codification des fichiers bibliographiques.* — *Périodiques géologiques de langue française.*

5° *Hearing before the subcommittee on research and development of the joint committee on atomic energy congress of the United States.* Eighty-sixth congress. *Second session on National food irradiation research programm.* March 31, 1960. Part 2.

6° *Hearing before the subcommittee on legislation of the joint committee on atomic energy congress of the United States.* Eighty-sixth Congress. *Second session on review of proposed power demonstration project.* June 10, 1960.

7° *Hearing before the subcommittee on communities of the joint committee on atomic energy congress of the United States.* Eighty-sixth Congress. *Second session on atomic energy communities.* June 13, 1960.

8° Association scientifique des pays de l'Océan indien. *Répertoire des principales organisations scientifiques de l'Océan indien.* II. *Indonésie.* III. *Thaïland.*

9° *Oukraïns'ka radians'ka Enciklopedija.* Tom I. *A-Bogounci* (*Encyclopédie Ukrainienne*).

10° YOSHIO OKAHARA. *Constitutional science. Theory, Law, Therapy.*

11° The food and agriculture organization of the United Nations. Fisheries biology branch. *Current bibliography for aquatic sciences and fisheries.* Volume 3.

12° Institut interuniversitaire des sciences nucléaires (Bruxelles). Monographie n° 7. *Formal theory of scattering phenomena. A study of recent achievements in modern scattering theory*, by C. C. GROSJEAN.

13° Académie royale des sciences d'outre-mer (Bruxelles). *Atlas général du Congo. Notice de la carte des centrales hydroélectriques*, par P. GEULETTE.

14° Académie des sciences de l'U. R. S. S. *Journal prikladnoï mekhaniki i tekhnitcheskoï fiziki* (*Journal de mécanique appliquée et de physique technique*). n° 1 — *Kinetika i kataliz* (*Cinétique et catalyse*). Tom I, vyp. 1, 2.

15° Universidade do Recife (Brésil). *Trabalhos do Instituto de biologia maritima e oceanografia.* Vol. I, n° 1.

16° New York State Museum and science service. Geological Survey. *Map and chart series.* N° 1. *Correlation of the Silurian rocks in New York State*, by DONALD W. FISHER.

17° Oak Ridge national laboratory. *Revision sheet for the trilinear chart of nuclides*, by WILLIAM H. SULLIVAN.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

TOPOLOGIE. — *L'espace dont chaque élément est une courbe n'est qu'un semi-espace de Banach.* Note (*) de M. **Maurice Fréchet.**

Pour un espace de courbes, on peut donner des définitions naturelles du produit par scalaire, de l'élément neutre, de la norme et *de la somme*, telles que les axiomes de Banach soient vérifiés, sauf peut-être les axiomes 3° et 4° cités plus loin. Et l'on peut donner deux contre-exemples dont l'un ne vérifie pas 3°, et dont l'autre ne vérifie pas 4°.

Introduction. — Dans une Note précédente (1), nous avions montré que : si l'on adopte des définitions très naturelles pour le produit par scalaire, l'élément neutre et la norme, dans l'espace $\mathcal{C}$ dont les éléments sont les courbes continues orientées, on ne peut, d'aucune manière, adjoindre à ces définitions celle d'une somme, de façon à faire de cet espace un espace de Banach.

Ici le rôle de la somme va être tout différent.

En conservant les mêmes définitions naturelles du produit par scalaire, de l'élément neutre et de la norme, au lieu de prouver qu'une définition quelconque de la somme (intuitive ou non) est incompatible avec l'*ensemble* de tous les axiomes de Banach, nous montrerons qu'il est possible de donner une définition de la somme qui : 1° soit assez naturelle; 2° satisfasse à *presque* tous les axiomes de Banach. Nous allons préciser cette assertion et l'étendre à d'autres espaces que $\mathcal{C}$. L'ensemble de courbes considéré sera une famille $\mathcal{F}$ de courbes continues orientées, c'est-à-dire : soit $\mathcal{C}$, soit un sous-ensemble de $\mathcal{C}$ (par exemple, l'ensemble des courbes rectifiables).

Rappel de définitions. — Rappelons les trois définitions mentionnées plus haut.

L'*élément neutre* sera une courbe de $\mathcal{F}$ réduite à un point fixe θ, ce qui suppose :

Condition A : Que $\mathcal{F}$ contienne un tel élément.

La norme d'une courbe ξ de $\mathcal{F}$ sera la plus grande des distances de θ aux différents points de ξ et sera représentée par $\|\xi\|$.

Enfin le *produit par scalaire* : $a.\xi$, où a est un nombre réel quelconque, sera l'homothétique de ξ relativement au centre d'homothétie θ et au rapport a. Pour que cette opération ne fasse pas sortir de $\mathcal{F}$, nous supposerons encore.

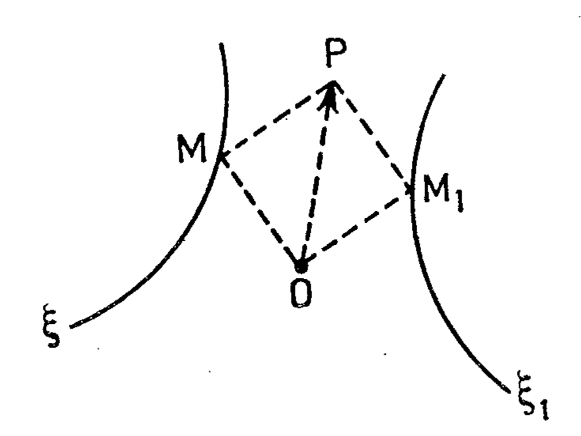
Condition B : Que les homothétiques d'une courbe de $\mathcal{F}$ (au moins par rapport à θ) soient des courbes de $\mathcal{F}$.

Représentations paramétriques intrinsèques. — Plusieurs représentations paramétriques intrinsèques ont été déjà publiées. Nous les examinerons successivement dans une Note ultérieure.

Nous nous contenterons ici d'admettre leur existence et d'utiliser seulement la définition générale d'une telle représentation.

Nous supposerons que pour toute courbe ξ de la famille $\mathcal{F}$, il est possible d'exprimer les coordonnées d'un point quelconque M de ξ en fonctions continues d'un paramètre t de façon : 1° que t soit déterminé par le point M et par la forme de ξ, supposée rigide, indépendamment de la position de ξ dans l'espace; 2° que quand t croît, M parcourt ξ dans le sens adopté pour ξ. (Il sera commode pour la suite de supposer que t varie de 0 à 1 quand M parcourt ξ.)

Somme. — Supposons définie une représentation paramétrique intrinsèque déterminée, p, pour toutes les courbes de $\mathcal{F}$.



Nous appellerons *somme* de deux courbes ξ, ξ_1, de $\mathcal{F}$ relativement à p et nous désignerons par $S_{\mathcal{F},p}$, la courbe décrite quand t croît de 0 à 1 par l'extrémité P de la résultante $\overline{\theta P}$ des vecteurs $\overline{\theta M}$, $\overline{\theta M_1}$, joignant θ à deux points M, M_1 de ξ, ξ_1, *qui correspondent à la même valeur t du paramètre* déterminé par la paramétrisation intrinsèque p (voir figure).

Ici encore, pour que cette opération ne fasse pas sortir de $\mathcal{F}$, nous supposerons que le système ($\mathcal{F}$, p) satisfait à la :

Condition C : La somme $S_{\mathcal{F},p}$ est une courbe appartenant à la famille $\mathcal{F}$.

Enfin, en vue d'augmenter le nombre des axiomes de Banach qui seront vérifiés par la paramétrisation p, nous supposerons que $\mathcal{F}$ et p satisfont à la

Condition D : Si M, M′ sont deux points correspondants dans une courbe ξ de $\mathcal{F}$ et dans une homothétique $a.\xi$ de ξ, les paramètres intrinsèques t, t' de M, M′ dans la paramétrisation p, sont égaux.

Tout ceci posé, on peut démontrer le théorème suivant :

Théorème I. — *Si, à une famille $\mathcal{F}$ de courbes continues orientées, on adjoint les définitions précédentes de l'élément neutre, de la norme, du produit par scalaire et de la somme* $S_{\mathcal{F},p} = \xi + \xi_1$, *de deux courbes de $\mathcal{F}$, relativement à la paramétrisation intrinsèque p,*

et si le système ($\mathcal{F}$, p) vérifie les conditions A, B, C, D;

ce système vérifie tous les axiomes de Banach, sauf *peut-être les axiomes*

3° $$(\xi + \xi_1) + \xi_2 = \xi + (\xi_1 + \xi_2),$$

4° « *l'égalité* $\xi + \xi_1 = \xi + \xi_2$ *entraîne* $\xi_1 = \xi_2$ ».

Contre-exemple. — Dans une Note ultérieure, nous donnerons un contre-exemple conduisant à la conclusion suivante :

THÉORÈME II. — *Il existe des systèmes* ($\mathcal{F}$, p), *dont l'un particulièrement simple, pour lesquels, ni l'axiome* 3°, *ni l'axiome* 4°, *ne sont vérifiés par toutes les courbes de* $\mathcal{F}$.

Il en résulte qu'un système ($\mathcal{F}$, p) *où l'on introduit les quatre définitions précédemment données de l'élément neutre, de la norme, du produit par scalaire et de la somme et qui satisfait aux conditions* A, B, C, D, *n'est pas nécessairement un espace de Banach (on pourra dire qu'il est un semi-espace de Banach).*

Et il existe de tels systèmes qui ne sont pas des espaces de Banach.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2787.

TOXICOLOGIE. — *Sur la présence du benzo-3.4 pyrène dans des aliments et viscères des animaux (rats) de laboratoire retenus comme témoins.* Note de MM. **Léon Binet, Lucien Mallet** et **Georges Wellers.**

Les auteurs attirent l'attention sur la présence possible du benzopyrène dans les aliments des animaux de laboratoire et l'existence de cette substance dans les organes de ces animaux témoins.

La présence fréquente dans les milieux vitaux (atmosphère, eau, terres de cultures), d'hydrocarbures contenant à l'état de traces, plus ou moins importantes, des corps cancérogènes, nous a conduit à rechercher dans les aliments farineux des animaux de laboratoire ainsi que dans l'organisme de ceux-ci les substances du type benzo-3.4 pyrène. Ces recherches préalables apparaissent indispensables à faire sur les animaux témoins comparativement à ceux soumis aux effets des hydrocarbures cancérogènes.

Les pourcentages établis sur un nombre important d'animaux témoins font apparaître bien souvent un chiffre de cancérisations dites spontanées qui peuvent être redevables à des traces de substances cancérogènes absorbées au cours de l'alimentation normale d'entretien.

Nous avons donc recherché le benzo-3.4 pyrène :

1° dans un biscuit du commerce donné aux rats;

2° dans des viscères des animaux soumis à l'alimentation de routine;

3° dans les supports cellulosiques destinés à recevoir les déjections des animaux.

Les méthodes de recherche du benzo-3.4 pyrène par chromatographie et spectrographie sont celles de M. Kling et Marg. Heros exposées dans des Mémoires antérieurs [1].

Le biscuit commercial est composé, d'après le fabricant :

1° maïs, orge, avoine;

2° son fin, déchets de pâtes;

3° arachide, soja cuit;

4° levures, viandes et poissons;

5° matières minérales;

6° cellulose, il y a en outre des vitamines A et D.

La recherche du benzo-3.4 pyrène a mis en évidence dans la couche externe des biscuits la présence en *traces de la substance.* Mais dans la masse interne la recherche a été négative.

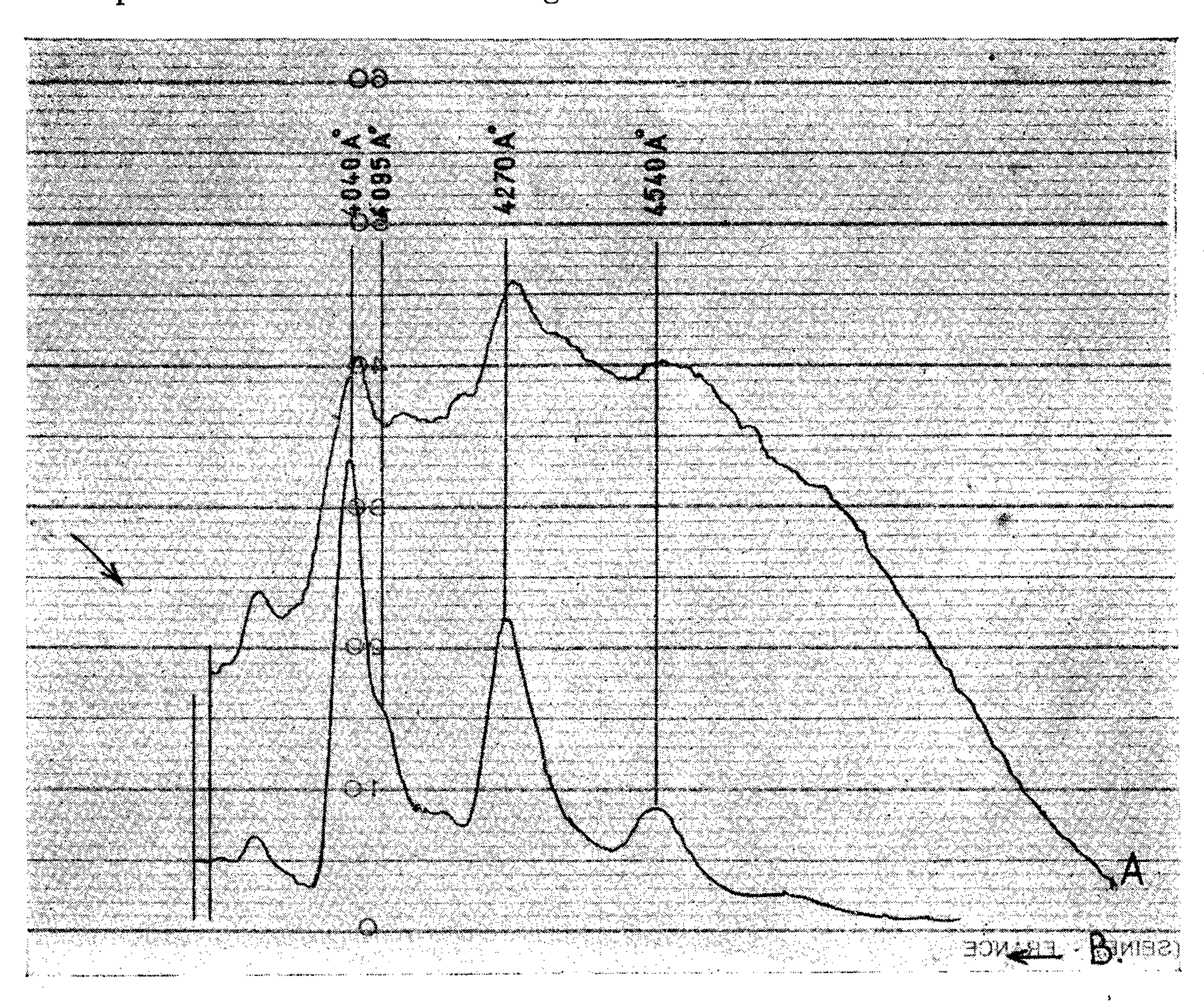
L'étude des viscères des animaux a porté sur quatre rats mâles ayant plus d'une année, nés, élevés et nourris avec le biscuit commercial au laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine.

Simultanément, nous avons prélevé poumons, foies et reins des quatre rats.

Pour les poumons : la recherche a donné un résultat négatif, soit l'absence du benzo-3.4 pyrène, soit une concentration inférieure à 0,1 μg de

benzo-3.4 pyrène pour 100 g de poids frais, en effet nous avons disposé d'une quantité très faible de l'organe.

Pour les reins : la recherche a donné un résultat négatif, soit l'absence du benzo-3.4 pyrène; soit une concentration inférieure à 0,1 μg de benzo-3.4 pyrène pour 100 g de poids frais, en effet nous avons disposé d'une quantité très faible de l'organe.



Spectres de bande du benzo-3.4 pyrène.
A. Spectre des foies; B. Spectre témoin du benzo-3.4 pyrène.

Pour les foies : il y avait présence en traces (limite de sensibilité) de benzo-3.4 pyrène (*fig.* 1) et en ordre de grandeur très approximative de :

0,03 μg par 100 g d'organe hydraté,

0,1 μg par 100 g d'organe sec.

Enfin, pour les échantillons de papier buvard destinés à recueillir les excréments, pour 100 g de papier après hydrolyse, il y avait absence ou une quantité inférieure à 0,04 μg (limite de sensibilité).

Bien que ces quantités de benzo-3.4 pyrène trouvées spontanément dans l'aliment et des organes tels les foies des rats apparaissent faibles, nous pensons que la recherche doit en être faite sur les témoins et leur présence ou absence figurer dans les bilans expérimentaux.

(1) *Bull. Acad. nat. Méd.*, 143, nos 13 et 14, 1959.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

THÉORIE DES NOMBRES. — *Sur une équation diophantienne.*

Note de M. **Roger Apéry**, présentée par M. Paul Montel.

On cherche $n \geq 0$ tel que

$$(1) \qquad \exists x \quad 2^{n+2} = x^2 + A.$$

A est un entier donné > 0 et $\equiv 7 \bmod 8$; $A = k^2 D$, où D est sans facteur carré.

Dans le corps $Q(\omega)$, où $\omega^2 = -D$, nous notons $\mathfrak{m}_1 \overset{I}{=} \mathfrak{m}_2$ l'égalité entre idéaux pour distinguer nombre et idéal principal. L'idéal principal (2) est le produit de deux idéaux premiers distincts $\mathfrak{p}$, $\mathfrak{p}'$.

L'équation

$$(2) \qquad 2^{n+2} = x^2 + Dy^2 \qquad (x, y \text{ impairs} > 0)$$

entraîne

$$\frac{1}{2}(x \pm y\omega) \overset{I}{=} \mathfrak{p}^n.$$

Si h est le plus petit entier > 0 tel que $\mathfrak{p}^h$ soit principal, $n = m.h$:

$$(3) \qquad \frac{1}{2}(x \pm y.\omega) \overset{I}{=} \left[\frac{1}{2}(x_1 + y_1\omega)\right]^m.$$

Comme $-D$ est négatif et différent de -1 et -3, $Q(\omega)$ n'a pas d'autre unité que ± 1. Si $1/2\,(x_m + y_m.\omega) = [1/2\,(x_1 + y_1.\omega)]^m$, (2) équivaut à

$$n = m.h, \qquad x = |x_m|, \qquad y = |y_m|.$$

Comme x_m et y_m sont étrangers, les relations donnant $x_{m+m'}$ et $y_{m+m'}$ en fonction de x_m, y_m, $x_{m'}$, $y_{m'}$ montrent que l'ensemble des m tels que k divise y_m n'est pas vide (méthode des tiroirs), et que, avec deux entiers, E contient leur somme et leur différence, donc que E est l'ensemble des $l.m_0$ où m_0 est le plus petit élément de E. De plus $y_{l.m_0}$ est multiple de y_{m_0}.

Soit r le plus petit nombre tel que

$$(4) \qquad \exists a \exists b \quad 2^{r+2} = a^2 + Ab^2$$

si $b > 1$ l'équation (1) *est impossible; si $b = 1$ toute solution de* (1) *est de la forme $l.r$.*

En posant $\varphi = k.\omega$, (1) s'écrit, avec $\varepsilon = \pm 1$:

$$(5) \qquad \varepsilon\varphi = \left(\frac{a+\varphi}{2}\right)^l - \left(\frac{a-\varphi}{2}\right)^l.$$

Si $l = l'.l''$ est solution de (5), il en est de même de l' et l''.

Supposons d'abord $a > 1$, ce qui entraîne l impair.

Soit p un diviseur premier de a, s le plus petit entier > 0 tel que

$$\left(-\frac{4}{A}\right)^s \equiv \pm 1 \qquad (\text{mod}\, p).$$

Nécessairement l est de la forme $1 + 2st$.

Si $(-4/A)^s = \pm (1 + \gamma p^\alpha)$ où γ est de valuation p-adique nulle,

$$\sum_{j='}^{j=+\infty} C_t^j \gamma^j p^\alpha = \sum_{j=1}^{j=+\infty} C_{1+2st}^{2j} \frac{a^{2j}}{(-D)^j}.$$

Si l'on remplace dans (6) l'entier ordinaire t par un entier p-adique, les deux séries sont toujours convergentes. Après simplification par t, les termes de plus basse valuation sont, à gauche de degré 0, à droite de degré 1 en t. L'équation (6) a, outre 0, au plus une solution p-adique, *a fortiori* au plus une solution rationnelle entière.

Si $a = 1$, le développement 2-adique montre que

$$\varepsilon(1 - 2^{r+1}) \equiv (1 - 2^r)^l - 2^{rl} \qquad (\text{mod}\, 2^{2r}).$$

Si $\varepsilon = +1$ et $l \neq 1$, $l.2^r \equiv 0 \bmod 2^{2r}$, l est pair. Comme toute solution impaire est 1, la seule solution paire est 2.

Si $\varepsilon = -1$, $-1 \equiv 1 \bmod 2^r$, $r = 1$, $A = 7$, dans ce cas, une méthode 7-adique fournit trois solutions [1].

Si $A \neq 7$ *l'équation* (1) *a au plus deux solutions.*

(1) SKOLEM, CHOWLA et LEWIS, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 10, 1959, p. 663-673.

ALGÈBRE. — *Sur la plus fine équivalence régulière et simplifiable d'un demi-groupe.* Note (*) de M. **Pierre Lefebvre**, transmise par M. Joseph Pérès.

Construction, par récurrence, de la plus fine équivalence régulière et simplifiable d'un demi-groupe, dans le cas non commutatif.

Soit D un demi-groupe. Nous construisons l'équivalence régulière et simplifiable minimale $\Sigma^\star$, définie dans D, intersection de toutes les équivalences régulières et simplifiables de D; le demi-groupe quotient $S^\star = D/\Sigma^\star$ est alors le plus grand semi-groupe homomorphe à D, et tout semi-groupe homomorphe à D est homorphe à $S^\star$ [2].

Nous utilisons un procédé de construction que nous avons déjà employé pour construire la plus fine équivalence simplifiable d'un demi-groupe : nous définissons par récurrence une suite croissante de relations dont nous prenons la réunion [1].

Cette étude concerne essentiellement le cas non commutatif. En effet, dans le cas commutatif $\Sigma^\star$ est l'équivalence définie par :

$$a \equiv b\ (\Sigma^\star) \text{ si et seulement s'il existe } x \in D \text{ tel que } ax = bx.$$

1. L'égalité est la plus fine équivalence régulière de D; nous la notons σ_1.

2. Nous construisons par récurrence une suite croissante (S) de relations σ_i, réflexives, symétriques et régulières :

$$(S) \qquad \sigma_1 \sigma \subseteq \sigma_2 \subseteq \sigma_3 \subseteq \ldots \subseteq \sigma_{2p-1} \subseteq \sigma_{2p} \subseteq \sigma_{2p+1} \subseteq \ldots,$$

telle que chacune de ces relations soit contenue dans toute équivalence régulière et simplifiable de D, celles d'indice impair étant des équivalences. Les relations σ_i (i entier naturel; $i \geq 1$) étant supposées définies jusqu'à $i = 2p - 1$ ($p \geq 1$), avec les propriétés précédentes, nous définissons σ_{2p} de la manière suivante :

$$a, b \in D; \quad a \sigma_{2p} b \text{ si et seulement s'il existe } x, y, u, v, a', b', \in D$$

tels que l'une des conditions suivantes soit vérifiée :

$$(C_1)\ xay\ \sigma_{2p-1}\ xby;$$
$$(C_2)\ a = ua', \quad b = ub', \quad uxa'y\ \sigma_{2p-1}\ uxb'y;$$
$$(C_3)\ a = a'v, \quad b = b'v, \quad xa'yv\ \sigma_{2p-1}\ xb'yv;$$
$$(C_4)\ a = ua'v, \quad b = ub'v, \quad uxa'yv\ \sigma_{2p-1}\ uxb'yv.$$

Enfin, la relation σ_{2p+1} est définie comme fermeture transitive de σ_{2p} [1].

La réflexivité de σ_{2p} résulte de celle de σ_{2p-1} et de la condition (C_1); sa symétrie est immédiate; l'inclusion $\sigma_{2p-1} \subseteq \sigma_{2p}$ est la conséquence de la régularité de σ_{2p} et de la condition (C_1).

La relation σ_{2p} est régulière; démontrons par exemple la régularité à gauche.

Supposons que $a\sigma_{2p}b$; s'il existe $x, y, u, v, a', b' \in D$ tels que la condition (C) soit vérifiée, on a $a = ua'v$, $b = ub'v$, $uxa'yv\,\sigma_{2p-1}\,uxb'yv$. σ_{2p-1} étant régulière, pour tout $r \in D$, on a

$$ra = (ru)\,a'v, \qquad rb = (ru)\,b'v, \qquad (ru)\,xa'yv\,\sigma_{2p-1}\,(ru)\,xb'yv,$$

ce qui prouve que les éléments ra et rb satisfont à la condition (C_4) donc que $ra\,\sigma_{2p}\,rb$.

Les trois autres cas conduisent à des démonstrations analogues.

Si Σ est une équivalence régulière et simplifiable de D, montrons que $\sigma_{2p} \subseteq \Sigma$.

Si l'on a, comme dans la démonstration précédente, $a = ua'v$, $b = ub'v$, $uxa'yv\,\sigma_{2p-1}\,uxb'yv$, de $\sigma_{2p-1} \subseteq \Sigma$ par hypothèse, on déduit $uxa'yv\,\Sigma\,uxb'yv$; Σ étant simplifiable, on a $a'\,\Sigma b'$; Σ étant régulière, on a aussi $ua'v\,\Sigma\,ub'v$, c'est-à-dire, finalement, $a\,\Sigma\,b$.

La fermeture transitive σ_{2p+1} de σ_{2p} est définie par :

$a\sigma_{2p+1}b$ si et seulement s'il existe $m_1, m_2, \ldots, m_n \in D$ tels que $a\sigma_{2p}m_1, m_1\sigma_{2p}m_2, \ldots, m_n\sigma_{2p}b$.

C'est une équivalence régulière, puisque σ_{2p} est réflexive, symétrique et régulière; on a évidemment $\sigma_{2p-1} \subseteq \sigma_{2p} \subseteq \sigma_{2p+1}$.

Si Σ est une équivalence régulière et simplifiable de D, on a $\sigma_{2p+1} \subseteq \Sigma$. Car $a\,\sigma_{2p+1}b$ entraîne $a\,\sigma_{2p}m_1$, $m_1\,\sigma_{2p}m_2$, $\ldots$, $m_n\,\sigma_p\,b$ et comme on a, d'après un résultat précédent, $\sigma_{2p} \subseteq \Sigma$, il résulte que :

$a\Sigma m_1$, $m_1\Sigma m_2$, $\ldots$, $m_n\Sigma b$, d'où, Σ étant transistive, $a\Sigma b$.

Les relations σ_{2p} et σ_{2p+1} ont donc bien les propriétés annoncées au début du paragraphe 2.

3. Enfin, nous définissons la relation $\Sigma^\star$ en prenant la réunion des relations σ_i :

$$\Sigma^\star = \bigcup_{i \geq 1} \sigma_i.$$

Il revient au même de poser $a\,\Sigma^\star\,b$ si et seulement s'il existe un entier naturel n tel que $a\sigma_n b$ pour $\sigma_n \in (S)$.

$\Sigma^\star$ est la plus fine équivalence régulière et simplifiable de D.

La réflexivité et la symétrie sont immédiates; la transitivité et la régularité résultent du fait que les σ_i forment une chaîne et que les σ_{2p+1} sont des équivalences régulières.

$\Sigma^\star$ est simplifiable; car si a, b, $t \in \mathrm{D}$ sont tels que, par exemple, on ait $at\,\Sigma^\star\,bt$, il existe un entier p tel que $at\,\sigma_{2p-1}\,bt$; comme σ_{2p-1} est régulière, pour un couple quelconque x, y d'éléments de D, on a

$$xa(ty)\,\sigma_{2p-1}\,xb(ty),$$

c'est-à-dire $a\sigma_{2p}b$ et par conséquent $a\Sigma^\star b$.

Que $\Sigma^\star$ soit la plus fine des équivalences régulières et simplifiables de D est la conséquence immédiate du fait que chaque σ_i est contenue dans toute équivalence régulière et simplifiable de D.

Remarque. — Si D est un demi-groupe stationnaire, la suite (S) se réduit à ses deux premiers termes.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) P. Dubreil, *Algèbre*, I, 2e éd., *Cahiers Scientifiques*, Gauthier-Villars, Paris.

(2) G. Thierrin, *Alger-Mathématiques*, 3, n° 2, 1956.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE, — *Géométrie projective différentielle des variétés de cônes.* Note (*) de MM. **Gheorghe Gheorghiev** et **Ili Popa**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Application de la méthode du repère mobile aux cônes quadratiques. Suite d'une Note précédente.

5. *Variétés de cônes quadratiques.* Par rapport à des repères formés par $A_0 A_3 = g$, $A_0 A_2$ une autre génératrice du cône local, $A_0 A_1$ la droite d'intersection des plans tangents le long de ces génératrices et $A_0 U$ de manière à réduire l'équation du cône local à la forme $[x^1]^2 - 2x^2x^0 = 0$, on a (*cf.* § 1)

$$\Gamma^1_{3t} = \Gamma^2_{1t} = 1 \qquad \text{et les autres} \quad \Gamma^j_{ik} = 0.$$

En intégrant le système donné par les formules de Frenet, on trouve

$$A_2 = A^0_2, \qquad A_1 = A^0_1 + tA^0_2, \qquad A_0 = A^0_3 + tA^0_1 + \frac{t^2}{2} A^0_2$$

avec $A_0 A^0_i$, $A_0 U^0$ droites fixes passant par A_0 et caractérisées de la même manière que $A_0 a_i$, $A_0 U$. Ca veut dire qu'on peut attacher des repères intrinsèquement liés au cône quadratique local et non seulement à ses génératrices, ϖ^j_i étant les pfaffiens d'un déplacement du repère $A_0 A^0_1 U^0$ et en notant $\varpi^j_i = \gamma^j_{ik} \varpi^k_0$, on trouve pour la courbure normale d'une courbe admissible de la variété

$$x_n = \Gamma^2_{33} = \gamma^2_{33} + t(\ldots) + \ldots + \frac{t^6}{8} \gamma^3_{22},$$

d'où il s'ensuit que, sur chaque cône local, il existe généralement un sextuple de tangentes asymptotiques.

Nous prendrons, pour la normale projective $A_0 A^0_2$ (la même pour tout plan tangent), une de ces tangentes asymptotiques. Par rapport à cette normale, les tangentes aux lignes de courbure de seconde espèce (dont l'une se confond avec la normale $A_0 A^0_2$) sont données par

$$\gamma^1_{23} + t(\gamma^3_{23} - \gamma^1_{21}) + t^2\left(\frac{1}{2}\gamma^1_{22} - \gamma^3_{21}\right) + \frac{t^3}{2}\gamma^3_{22} = 0.$$

En prenant pour $A_0 A^0_3$ et pour l'une des intersections du plan $A_0 U^0 A^0_1$ avec le cône local les deux tangentes principales restantes, nous aurons

$$\gamma^3_{22} = \gamma^1_{23} = \gamma^3_{23} - \gamma^1_{21} - \sqrt{2}\left(\gamma^3_{21} - \frac{1}{2}\gamma^1_{22}\right) = 0.$$

On achève la détermination du repère invariant de la même manière que dans le cas général et l'on aura encore

$$\gamma^2_{12} = \gamma^2_{32} = \gamma^1_{21} = \gamma^1_{12} + \gamma^1_{22} + \gamma^1_{32} - \gamma^2_{22} - 1 = 0.$$

Les variétés quadratiques Tzitseica — variétés à lignes de courbure de deuxième espèce indéterminées — jouissent de la propriété remarquable et caractéristique (dans le cas $\gamma^3_{21} \neq 0$) d'avoir le cône Malus relatif à la normale $A_0 A^0_2$ coïncident avec celui de la variété.

6. *Variétés linéaires.* — Par une voie tout à fait semblable à celle du paragraphe précédent, on définit un repère invariant, avec $A_0 A^2_0$ la normale de Bortolotti, $A_0 A^0_1$ les tangentes asymptotiques, $A_0 U^0$ l'une des quatre droites d'intersections des cônes Malus correspondants et les points déterminés de la même manière que dans les cas précédents.

Les variétés linéaires Tzitzéica (à lignes de courbure de seconde espèce indéterminées) jouissent de la propriété d'avoir $A_0 A_2$ unilatéralement conjuguée aux arêtes $A_0 A_1$ et $A_0 A_3$ dans les plans respectifs et d'avoir les courbures Tschebycheff égales.

Les variétés linéaires Tzitzéica-Wilczynski en sont un cas particulier (deux conditions supplémentaires).

(*) Séance du 19 septembre 1960.

RELATIVITÉ. — *Étude de la théorie de Jordan-Thiry dans le cas purement gravitationnel où la matière n'est pas chargée.* Note de M[me] **Aline Surin**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans deux précédentes Notes [1], nous avons étudié les équations de champ et de mouvement en théorie de Jordan-Thiry, dans le cas de la première approximation. Il est à noter que nous avons trouvé un terme supplémentaire qui n'intervient pas dans les équations de mouvement de l'Électromagnétisme classique. Ce terme n'est pas négligeable, aussi avons-nous été amenés à considérer à nouveau le choix de la métrique de V_4. Rappelons que le tenseur d'impulsion-énergie de V_5, $\Theta_{\alpha\beta}$ généralise formellement celui de la Relativité générale, dans le cas purement gravitationnel; $\Theta_{\alpha\beta}$ est alors bien déterminé en première approximation, en imposant la condition suivante : les équations de champ de V_5, $S_{\alpha\beta} = \Theta_{\alpha\beta}$, doivent entraîner en première approximation la théorie provisoire de l'Électromagnétisme.

$S_{\alpha\beta}$ désigne le tenseur d'Einstein de V_5 munie de la métrique

$$d\sigma^2 = \gamma_{\alpha\beta}\, dx^\alpha\, dx^\beta \qquad (\alpha, \beta = 0, 1, 2, 3, 4).$$

Rappelons qu'en repère orthonormé de V_5 (ce qui est indiqué en soulignant les indices), nous avons [2]

$$\begin{aligned} S_{\underline{i}j} = \overset{*}{S}_{\underline{i}\underline{j}} &+ \frac{3}{4} g_{\underline{i}\underline{j}} g^{\underline{p}\underline{q}} \frac{\partial_{\underline{p}}\lambda}{\lambda} \frac{\partial_{\underline{q}}\lambda}{\lambda} - \frac{3}{2} \frac{\partial_{\underline{i}}\lambda}{\lambda} \frac{\partial_{\underline{j}}\lambda}{\lambda} \\ &+ \frac{1}{\lambda}\left[\nabla_{\underline{i}}\partial_{\underline{j}}\lambda - g_{\underline{i}\underline{j}}\Delta\lambda\right] - \frac{\beta^2\lambda}{\xi} 2\pi c^2 \overset{*}{\mathcal{E}}_{\underline{i}\underline{j}} - \frac{1}{\xi}\left[\nabla_{\underline{i}}\partial_{\underline{j}}\xi - g_{\underline{i}\underline{j}}\Delta\xi\right], \end{aligned}$$

$\overset{*}{S}_{\underline{i}\underline{j}}$ est le tenseur d'Einstein de V_4, munie de la métrique

$$d\overset{*}{s}{}^2 - \overset{*}{g}_{ij}\, dx^i\, dx^j \qquad (i, j = 1, 2, 3, 4),$$

où

$$\overset{*}{g}_{ij} = \lambda g_{ij} = \lambda\left(\gamma_{ij} - \frac{\gamma_{i0}\gamma_{j0}}{\gamma_{00}}\right).$$

Dans tout ce qui suit, nous nous placerons dans le cas de matière non chargée ($\mu = 0$).

Il y a un arbitraire dans le choix de λ. Posons

$$\lambda - \xi = \frac{\Lambda_0}{c^2} + \frac{\Lambda_1}{c^4} + O\left(\frac{1}{c^6}\right).$$

Quel que soit le choix de Λ_0, les équations de champ de V_5, déterminent en première approximation le tenseur fondamental $\gamma_{\alpha\beta}$. Nous trouvons alors

$$\begin{aligned} \overset{*}{g}_{AB}(2) &= -\delta^B_A(2U + \Lambda_0), \\ \overset{*}{g}_{44}(2) &= -2U + \Lambda_0, \\ \overset{*}{g}_{4A}(3) &= \gamma_{4A}(3). \end{aligned}$$

Donc si nous voulons que, dans le cas purement gravitationnel, $d\overset{*}{s}^2$ représente en première approximation la métrique de la Relativité générale, il est nécessaire et suffisant que $\Lambda_0 = 0$. Donc

$$\lambda = \xi + O\left(\frac{1}{c^4}\right).$$

Or, d'après les équations de champ :

$$\xi = 1 + \frac{4U}{3}\frac{1}{c^2} + O\left(\frac{1}{c^4}\right).$$

Essayons maintenant d'assurer globalement la condition suivante :

$$(2) \qquad S_{\underline{ij}} = \check{S}_{\underline{ij}} \qquad (\mu = 0),$$

c'est-à-dire

$$(2') \qquad \frac{3}{4} g_{\underline{ij}} g^{\underline{pq}} \frac{\partial_p \lambda}{\lambda}\frac{\partial_q \lambda}{\lambda} - \frac{3}{2}\frac{\partial_i \lambda}{\lambda}\frac{\partial_j \lambda}{\lambda} + \frac{1}{\lambda}\left[\nabla_{\underline{i}} \partial_{\underline{j}} \lambda - g_{\underline{ij}} \Delta\lambda\right] - \frac{1}{\xi}\left[\nabla_{\underline{i}} \partial_{\underline{j}} \lambda - g_{\underline{ij}} \Delta\xi\right] = 0.$$

Si $\lambda = \xi + O(1/c^4)$, (2′) est vérifiée en première approximation. Nous allons voir que nous obtenons une contradiction, en deuxième approximation. Posons

$$\alpha = \frac{4U}{3}.$$

La condition (2′) peut alors s'écrire

$$(3) \qquad \partial_A^B \partial_{CC} \Lambda_1 + \partial_{AB} \Lambda_1 + \frac{3}{4}\delta_A^B \partial_C \alpha\, \partial_C \alpha - \frac{3}{4}\partial_A \alpha\, \partial_B \alpha = 0,$$

$$(4) \qquad \partial_{CC} \Lambda_1 + \frac{3}{4}\partial_C \alpha\, \partial_C \alpha = 0,$$

$$(5) \qquad \partial_{At} \Lambda_1 = \frac{3}{2}\partial_A \alpha\, \partial_t \alpha$$

(l'indice C répété deux fois doit être sommé). L'équation (3) entraîne

$$(3') \qquad 4\partial_{CC} \Lambda_1 + \frac{3}{2}\partial_C \alpha\, \partial_C \alpha = 0,$$

(3′) et (4) sont compatibles seulement si $\partial_C \alpha\ \partial_C \alpha = 0$.

Ce résultat est incompatible avec $\alpha = 4U/3$.

Conclusions. — *a.* Quel que soit le choix de λ, la variété V_4, munie de la métrique $d\overset{*}{s}^2 = \lambda\, g_{ij}\, dx^i\, dx^j$, ne peut être identifiée au cadre de la Relativité générale (l'impossibilité a été établie en l'absence de charge et en deuxième approximation).

b. Les équations de mouvement en première approximation font intervenir le tenseur d'Einstein en deuxième approximation. La condi-

tion (2) ne pouvant être satisfaite en deuxième approximation, il n'était pas possible de prévoir que nous retrouverions les équations de mouvemen classiques, en première approximation.

Cependant, il faut remarquer qu'il eut été possible de retrouver les équations de mouvement classiques, sans que le choix de λ nous ait permis d'identifier V_4 au cadre de la Relativité générale.

c. Les équations de mouvement obtenues en théorie de Jordan-Thiry nous permettent de conclure que V_4 ne doit pas être munie d'une métrique conforme λg_{ij}, cela quel que soit λ.

(1) A. SURIN, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1805; 249, 1959, p. 2279.
(2) F. HENNEQUIN, *Thèse*, Gauthier-Villars, Paris, 1956, p. 52.

PHYSIQUE DES SOLIDES. — *Étude des propriétés semi-conductrices des séléniures et tellurures de germanium et d'étain.* Note de M. **Jan-Willy Verstrepen**, présentée par M. Jean Wyart.

L'intérêt pour les propriétés thermoélectriques des semi-conducteurs s'est fortement accru au cours des dernières années. Nous basant sur les résultats intéressants récemment obtenus pour différents séléniures et tellurures, nous avons entrepris l'étude des séléniures et tellurures d'étain. On pouvait, en effet, s'attendre à ce que ces composés soient des semi-conducteurs. Aucune donnée n'existait quand nous avons entrepris ce travail mais, récemment, Asanabe (1) a, dans une courte Note, fourni quelques données à leur sujet. Afin de disposer de composés d'un très haut degré de pureté, les éléments étaient d'abord soumis à un processus de purification poussé de façon à ce qu'aucune impureté ne pouvait plus être décelée par voie spectrographique. L'étain, le germanium et le tellure étaient soumis ensuite à un raffinage par zones, le sélénium à des sublimations répétées. Pour synthétiser les composés proprement dits, les éléments étaient fondus ensemble en proportion stœchiométrique dans des tubes en quartz scellés, préalablement évacués. Des diagrammes aux rayons X ont été faits dans chaque cas afin de vérifier que la réaction avait été complète. Des parallélépipèdes ayant $15 \times 3 \times 3$ mm ont été découpés et les mesures de la résistivité et du pouvoir thermoélectrique en fonction de la température ont été faits sur ces échantillons. La méthode et l'appareillage utilisés à cet effet étaient pratiquement identiques à ceux décrits par Middleton et Scanlon (2). Les mesures ont été effectuées dans un intervalle de températures allant de 140 à 800° K.

Ces expériences ont démontré qu'il existe une grande différence entre les deux séléniures et leurs tellurures correspondants. Dans l'intervalle de température étudié, les tellurures d'étain et de germanium ont un comportement métallique prononcé. La résistivité, de l'ordre de $10^{-4}\,\Omega.\text{cm}$, augmente légèrement quand la température croît, tandis que le pouvoir thermoélectrique est plutôt petit (50 μV/° C) et ne varie pas notablement en fonction de la température. Il n'est pas exclu qu'il s'agit ici d'un cas de dégénérescence et que les mesures effectuées aux températures plus basses révèlent les propriétés semi-conductrices attendues.

Les deux séléniures au contraire se comportent comme de vrais semi-conducteurs. La variation de la résistivité avec la température est analogue pour les deux composés; dans chaque cas la résistivité est de l'ordre de $10^{3}\,\Omega.\text{cm}$ aux basses températures et descend jusqu'à $10^{-1}\,\Omega.\text{cm}$ aux températures élevées. Le pouvoir thermoélectrique est très élevé, à la température ambiante il est de 600 μV/° C, mais décroît très vite aux hautes températures. Notons aussi le très grand pouvoir thermoélectrique

du SnSe aux basses températures, ce qui peut être expliqué par un effet d'entraînement de phonons. Des échantillons obtenus en mélangeant les composés décrits en proportions connues ont également été examinées. Il est apparu que les propriétés des systèmes SnTe-GeTe et SnSe-GeSe sont analogues à celles de composés purs.

Une transition continue des valeurs numériques est observée en allant respectivement du SnTe ou du SnSe au GeTe ou au GeSe. Les mélanges SnTe-SnSe ne montrent pas cette même continuité. Ils gardent les propriétés analogues à celles du SnTe ou du GeTe jusqu'à ce que la proportion du tellurure dans le mélange devienne inférieure à 25 %.

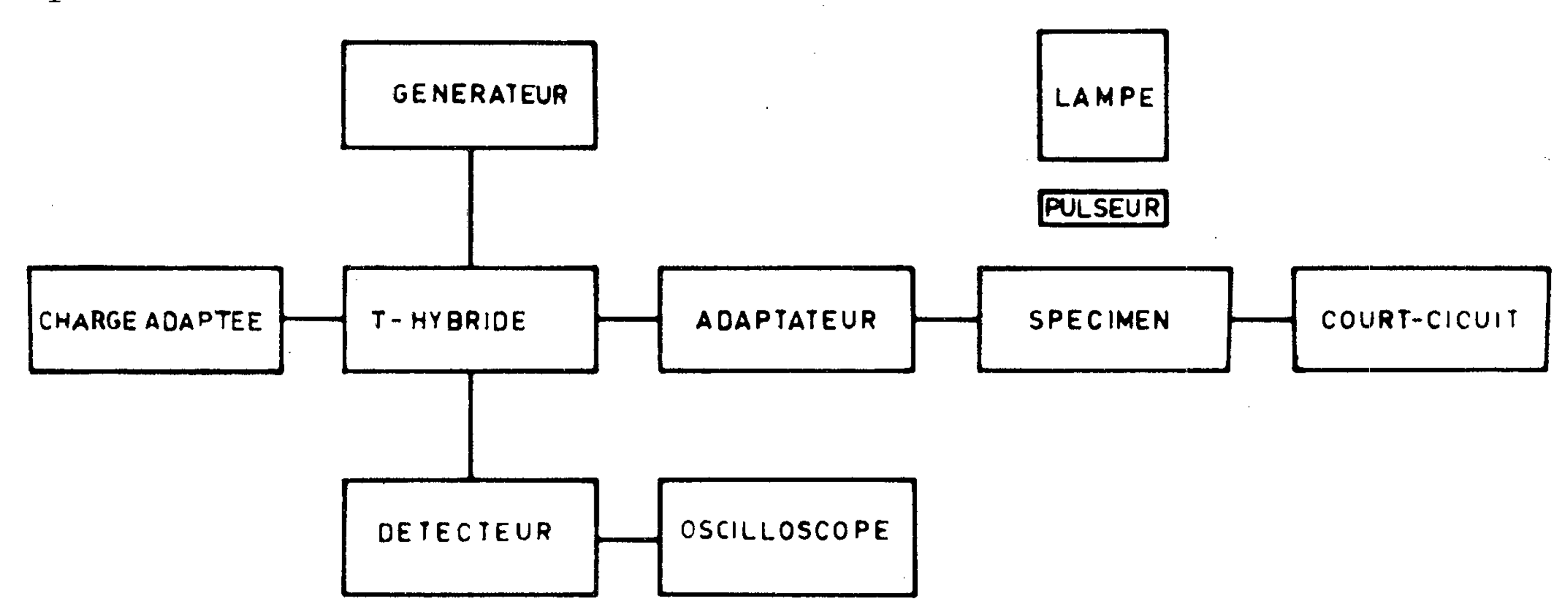
Les mesures de résistivité et pouvoir thermoélectrique, combinées avec des mesures de l'effet Hall, nous donneront un aperçu complet des constantes caractéristiques des semi-conducteurs étudiés. Les mesures de l'effet Hall sont entreprises en ce moment, mais se révèlent très délicates à cause de la faible valeur numérique de ce coefficient. Nous espérons en publier les résultats ultérieurement.

(1) S. Asanabe, *J. Phys. Soc. Japan*, 14, 1959, p. 281.
(2) A. E. Middleton et W. W. Scanlon, *Phys. Rev.*, 92, 1953, p. 219.

(Laboratoire de Cristallographie de l'Université de Gand, Rozier, 6, Gand, Belgique.)

PHYSIQUE DES SOLIDES. — *La mesure du temps de vie des porteurs minoritaires dans les semi-conducteurs.* Note de MM. **Wilfried de Kinder** et **Joost Vennik**, présentée par M. Jean Wyart.

La connaissance du temps de vie des porteurs minoritaires dans les semi-conducteurs est d'une importance technique considérable. Il est, de ce fait, utile de disposer de méthodes qui permettent la mesure exacte et rapide de ce facteur. La méthode couramment employée est basée sur la photoconductivité. Un courant constant traverse le spécimen et la chute de tension est observée sur un oscilloscope. Quand des porteurs minoritaires sont injectés, le plus souvent par une irradiation du spécimen durant un temps donné, la variation de la chute de tension donne une image fidèle du comportement de ces porteurs dans le spécimen. Ceci nécessite des contacts ohmiques sur l'échantillon à examiner, ce qui est assez facile dans le cas du germanium mais devient beaucoup plus difficile, sinon impossible, quand on a affaire à du silicium ou à des composés intermétalliques.



Pour parer à ces difficultés, Ramsa, Jacobs et Brand ([1]) ont mis au point une méthode de mesure à l'aide d'ondes centimétriques. L'échantillon qu'on se propose de mesurer a la forme d'un parallélépipède dont la section est faible par rapport à la hauteur. Il est introduit dans un guide d'ondes de façon que sa plus grande face est parallèle au vecteur électrique de l'onde centimétrique. Des porteurs minoritaires sont injectés en irradiant le spécimen par un faisceau pulsé de rayons infrarouges. La conductivité de l'échantillon est de ce fait modulée et également la transmission de l'onde centimétrique qui en est une fonction directe. Cette modulation est détectée à l'aide d'une diode placée derrière l'échantillon. Ramsa et ses collaborateurs admettent que les courbes de décroissance de la transmission ainsi obtenues sur l'oscilloscope correspondent exactement à la décroissance des porteurs minoritaires, c'est-à-dire qu'on peut en déduire

le temps de vie. Toutefois, les auteurs précités négligent la réflexion de l'onde centimétrique sur le spécimen, qui est, dans certains cas, également fonction de sa conductivité. A l'appui de cette thèse, citons un travail théorique d'Atwater ([2]) paru alors que le travail faisant l'objet de cette Note était déjà terminé, et dans lequel l'auteur examine les conditions dans lesquelles les hypothèses de Ramsa et collaborateurs sont valables.

Afin de contourner les difficultés citées, nous avons utilisé le montage suivant (*fig.* 1).

Un klystron 2 K 25 alimente un T-hybride dont une extrémité est fermée par une impédance caractéristique. Le second bras du pont contient le spécimen, un adaptateur et un court-circuit calibré. Ceci permet de réaliser l'équilibre dans l'absence d'illumination du spécimen. En pratique, on laisse subsister un léger déséquilibre pour donner une polarisation optimale au détecteur. Par l'injection de porteurs, l'impédance du spécimen change, sa variation peut être mesurée sur l'oscilloscope et l'on en déduit des temps de vie. Pour des spécimens de germanium nous avons comparé des valeurs ainsi obtenues à celles obtenues à l'aide de la méthode classique. Des valeurs pratiquement identiques ont été obtenues. Ceci indique que le montage employé est satisfaisant.

(1) A. P. Ramsa, J. Jacobs et F. A. Brand, *J. Appl. Phys.*, 30, 1959, p. 1054.

(2) H. A. Atwater, *J. Appl. Phys.*, 31, 1960, p. 938.

(*Laboratoire de Cristallographie de l'Université de Gand, Rozier, 6, Gand, Belgique.*)

SEMI-CONDUCTEURS. — *Absorption optique due à l'introduction de carbone dans le réseau de silicium.* Note de MM. **Minko Balkanski**, **Wacław Nazarewicz** et **Édouard da Silva**, présentée par M. Jean Lecomte.

Des perturbations sur les propriétés cristallographiques du silicium dues à la présence de carbone, nous ont amenés à entreprendre une étude systématique du comportement du carbone comme impureté neutre dans le silicium. Une des premières constatations sur l'effet du carbone est qu'en sa présence, il est impossible de produire des monocristaux de silicium. Le monocristal de silicium présente des macles à partir d'une certaine concentration en carbone. Pour distinguer cet effet de celui de l'oxygène et de l'azote, qui sont aussi des impuretés neutres pour le silicium, nous avons entrepris l'étude spectroscopique du silicium dopé au carbone. Les spectres d'absorption infrarouge du silicium, contenant de l'oxygène, sont bien connus ([1]). Il existe aussi quelques mesures concernant l'absorption optique due à l'azote ([2]), et des études préliminaires, sur les spectres d'absorption du silicium contenant du carbone, ont été faites par G. Sanchez du Laboratoire de Recherches de W. R. Grace à Clarksville. L'étude systématique d'une trentaine d'échantillons de silicium, dans lesquels des teneurs variables en carbone ont été intentionnellement introduites, montre un pic d'absorption situé à $12{,}20 \pm 0{,}05\ \mu$.

Les spectres de transmission ont été tracés avec un spectrographe Perkin-Elmer 13 U avec optique en Na Cl, avec des échantillons placés dans un cryostat à hélium liquide et des mesures faites à la température de l'hydrogène liquide (20° K), de l'azote liquide (78° K) et à la température ambiante. Dans un four spécialement conçu pour cet usage, des expériences ont été poursuivies à des températures plus élevées allant jusqu'à 673° K.

La bande d'absorption optique, caractéristique de la présence de carbone dans le silicium, se situe dans la région du spectre d'absorption optique due aux vibrations de réseaux du silicium pur. Ce spectre provenant de phonons couplés a été étudié par Johnson ([3]) et récemment repris dans notre Laboratoire. Dans la région entre 5 et 15 μ, les pics d'absorption infrarouge ne dépassent pas 3 cm^{-1}. Le coefficient d'absorption du pic, le plus proche de celui que nous considérons comme caractéristique de la présence de carbone, est de 2,3 cm^{-1} et se trouve à 12,21 μ pour le silicium pur. Le faible coefficient d'absorption témoigne du fait qu'on ait affaire à des processus de second ordre (coopération de deux phonons). L'introduction de carbone dans le silicium pur fait apparaître des valeurs même supérieure à 60 cm^{-1} pour des échantillons fortement dopés.

L'intensité de l'absorption infrarouge paraît être proportionnelle à la concentration de carbone dans le silicium. Sur la figure 1, sont donnés à titre d'exemple, les spectres d'absorption optique pour des échantillons de différentes teneurs en carbone, l'échantillon n° 1 est supposé être exempt de carbone.

L'effet de la température semble être un léger déplacement de la position

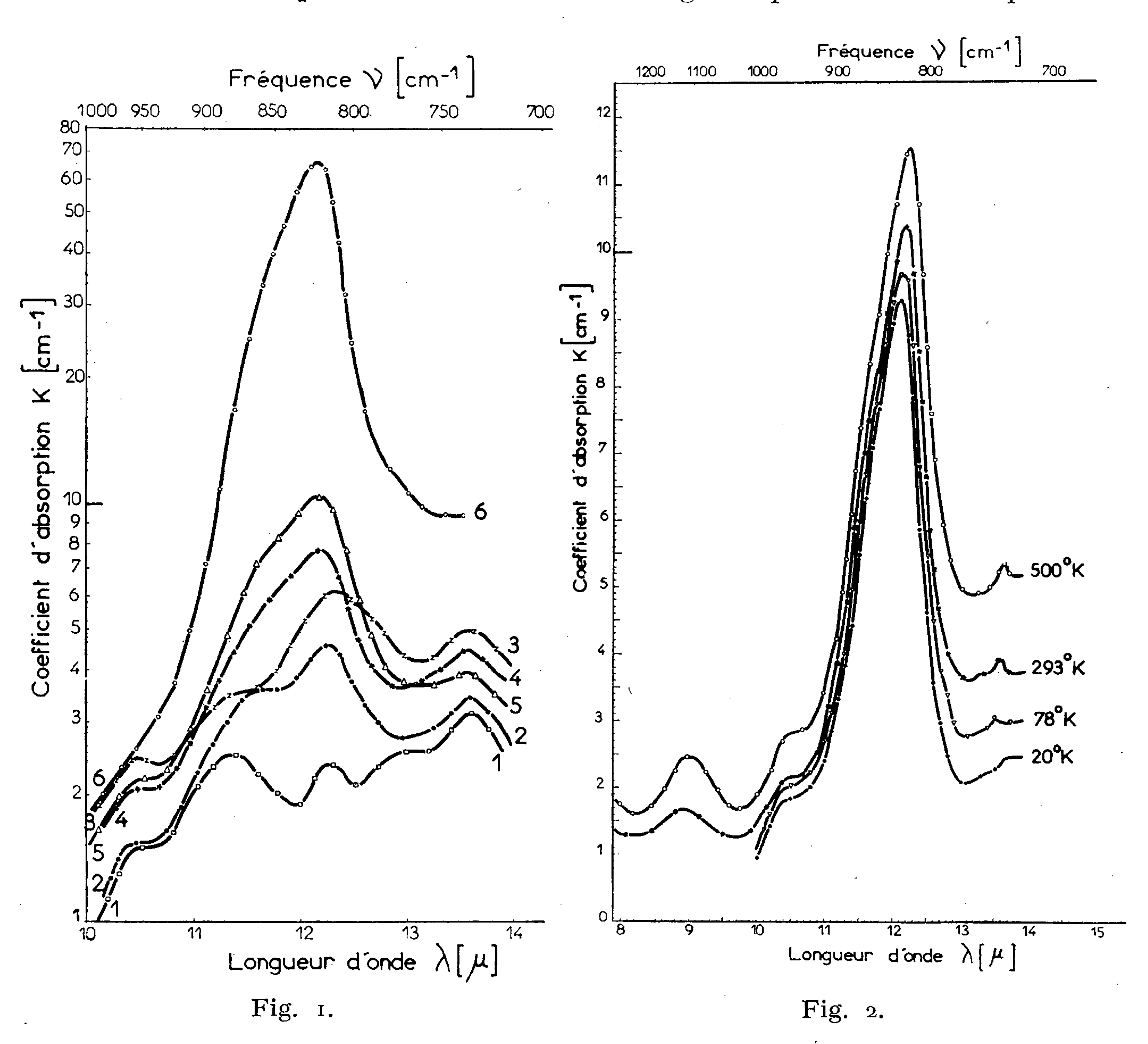


Fig. 1. Fig. 2.

du pic, dont le coefficient est $\partial E/\partial T \sim - 10^{-5}$ eV/° C. Le coefficient d'absorption ne varie pas en fonction de la température, si l'on tient compte de l'absorption due aux porteurs libres. Sur la figure 2 sont données les courbes d'absorption d'un échantillon à différentes températures.

L'introduction d'un défaut, dans le cas présent un atome étranger dans un cristal idéal, perturbe les modes normaux de vibrations. Dans certains cas, les défauts introduits créent un mode de vibrations localisées. L'étude de l'absorption, due aux vibrations d'une impureté neutre dans un semi-conducteur, apporte des informations intéressantes sur les modes localisés dans le réseau, et fournit des données expérimentales nécessaires pour la théorie de ce problème.

On peut admettre que le carbone se trouve en position de substitution dans le silicium en raison de sa structure électronique. Dans ce cas, le pic à $12{,}20 \pm 0{,}05\ \mu$ peut être attribué aux vibrations de l'atome de carbone. Ce pic apparaît exactement à l'endroit où se trouve la bande de rayonnement restant dans le Si C.

Si l'on admet que le Si C est à peu près ionique avec une concentration de $N = 4{,}84.10^{22}$ paires d'ions par centimètre cube, on peut calculer la concentration de carbone nécessaire pour obtenir un coefficient d'absorption de $10\ cm^{-1}$. Le coefficient d'absorption, pour la bande du rayonnement restant dans le Si C α-II (hexagonal) à $12{,}6\ \mu$ est environ $1{,}7.10^{5}\ cm^{-1}$. L'absorption pour un oscillateur est donc de l'ordre de $10^{-18}\ cm^{2}$. Il faut donc environ 2.10^{18} atomes de carbone par centimètre cube (quatre oscillateurs) pour avoir un coefficient d'absorption de $10\ cm^{-1}$.

La spectroscopie infrarouge du silicium dopé au carbone nous donne donc une méthode sûre de détecter qualitativement la présence du carbone, elle peut aussi devenir une méthode quantitative pour la détermination de la teneur de carbone dans le silicium.

(1) H. J. HROSTOWSKI et R. H. KAISER, *Phys. Rev.*, 107, 1957, p. 966.
(2) W. KAISER et C. D. THURMOND, *J. Appl. Phys.*, 30, 1959, p. 427.
(3) F. A. JOHNSON, *Proc. Phys. Soc.*, 73, 1959, p. 265.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Étude de la sensibilité des émulsions nucléaires aux températures de l'azote liquide et de l'hélium liquide.* Note (*) de MM. **Louis Avan** et **Claude Dubois**, présentée par M. Gaston Dupouy.

La détermination de la loi de variation de la sensibilité photographique en fonction de la température est susceptible d'apporter une contribution précieuse à la connaissance du mécanisme de formation de l'image latente en photographie nucléaire. La réduction de sensibilité des émulsions aux très basses températures s'interprète généralement en fonction d'une plus faible mobilité des ions argent. Dans cette hypothèse, compte tenu des travaux de Webb et de Bogomolov [1] sur la conductibilité des ions à la température de l'azote liquide, la sensibilité devrait demeurer constante au-dessous de — 186° C.

Dans une première phase de notre étude, nous avons utilisé des émulsions sans support de 200 μ d'épaisseur, de type Ilford K_0, C_2, G_5 et K_5. Les émulsions K_0 sont habituellement destinées à l'enregistrement des traces de fission. Les émulsions C_2 sont utilisées dans les études de radioactivité α. Les émulsions G_5 et K_5 sont sensibles aux électrons relativistes.

Toutes ces émulsions ont été mises en contact avec une poudre fine d'urano-thorianite quelques secondes avant leur introduction dans le cryostat contenant de l'azote liquide.

Pendant toute la durée de l'immersion (2 h), une expérience identique de contrôle a été effectuée à la température ambiante. Toutes les émulsions ont ensuite été développées par la méthode classique à deux températures, la température du stade chaud étant volontairement élevée afin d'éviter

Explication des Figures.

Fig. 1. — Émulsion G_5, α; température d'exposition : 20° C. Développement : méthode isothermique à 6° C.

Fig. 2. — Émulsion G_5, α; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode isothermique à 6° C.

Fig. 3. — Émulsion G_5, α; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode à deux températures avec stade chaud à 28° C.

Fig. 4. — Émulsion G_5, particule relativiste avec ionisation au « plateau de Fermi »; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode isothermique à 6° C.

Fig. 5. — Émulsion G_5, particule relativiste avec ionisation au « plateau de Fermi »; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode à deux températures avec stade chaud à 28° C.

Fig. 6. — Émulsion G_5, protons d'une étoile « 2 + On »; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode isothermique à 6° C.

Fig. 7. — Émulsion G_5, proton en fin de parcours issu de l'étoile précédente; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode isothermique à 6° C.

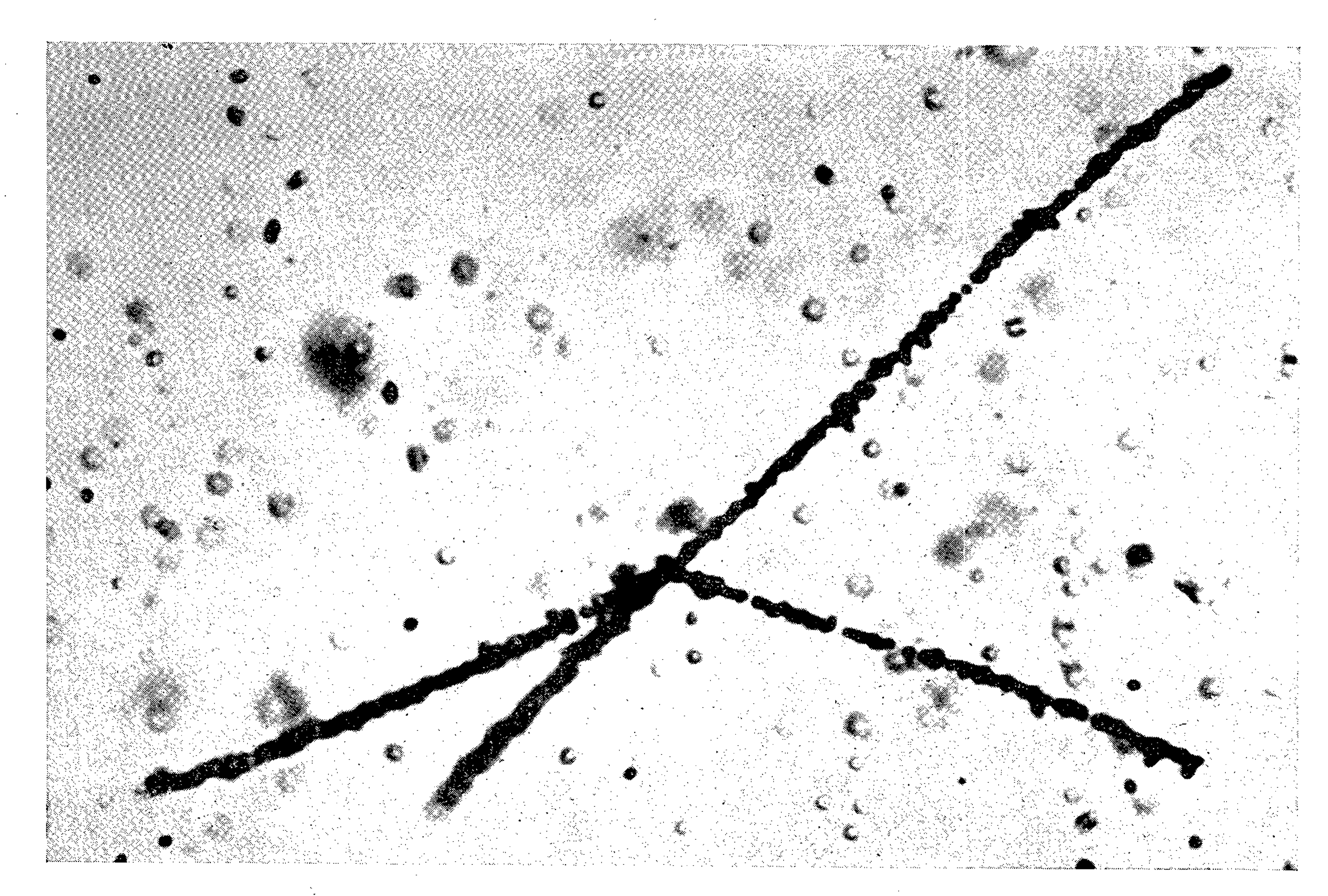


Fig. 1. — G_5, α, A, I 6.

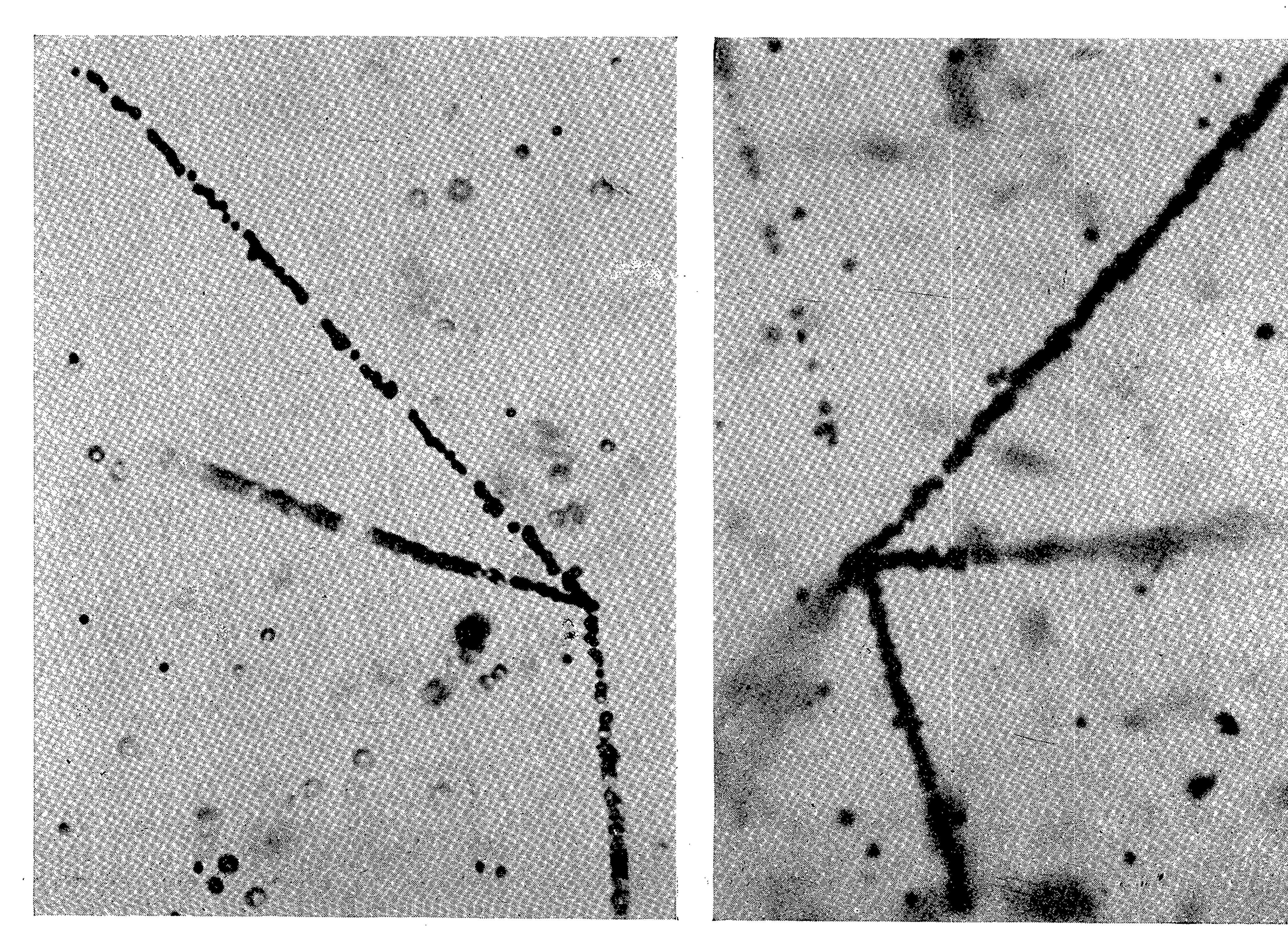


Fig. 2. — G_5, α, N, I 6.

Fig. 3. — G_5, α, N, S 28.

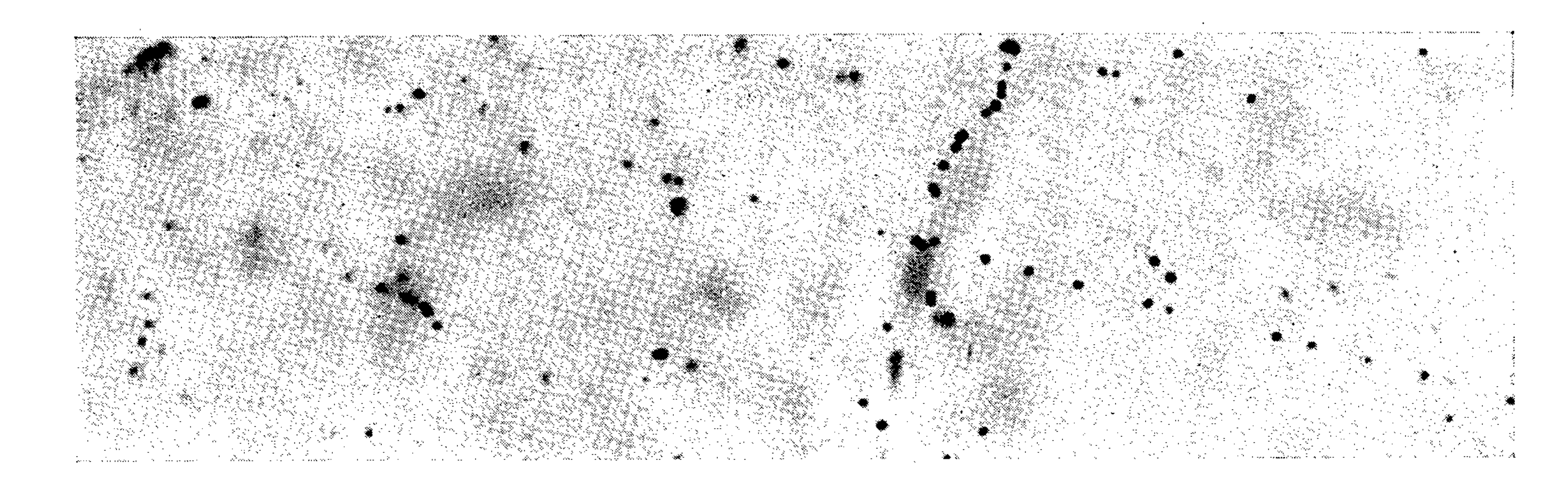


Fig. 4. — G_5, Plateau, N, I 6.

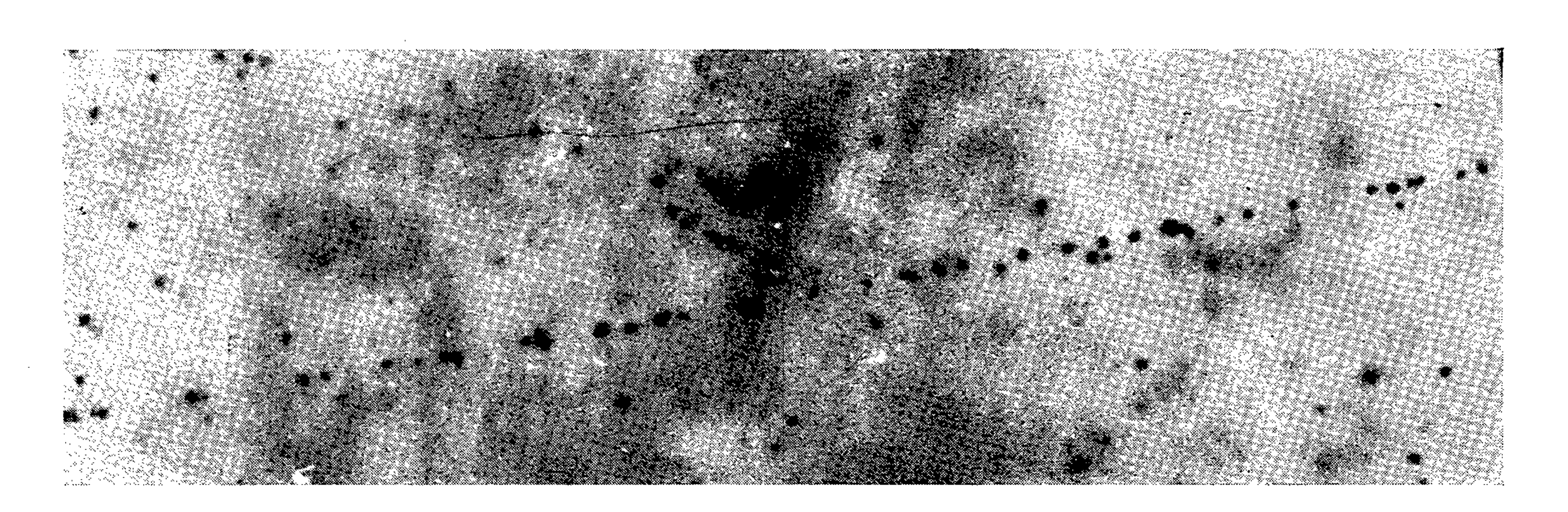


Fig. 5. — G_5, Plateau, N, S 28.

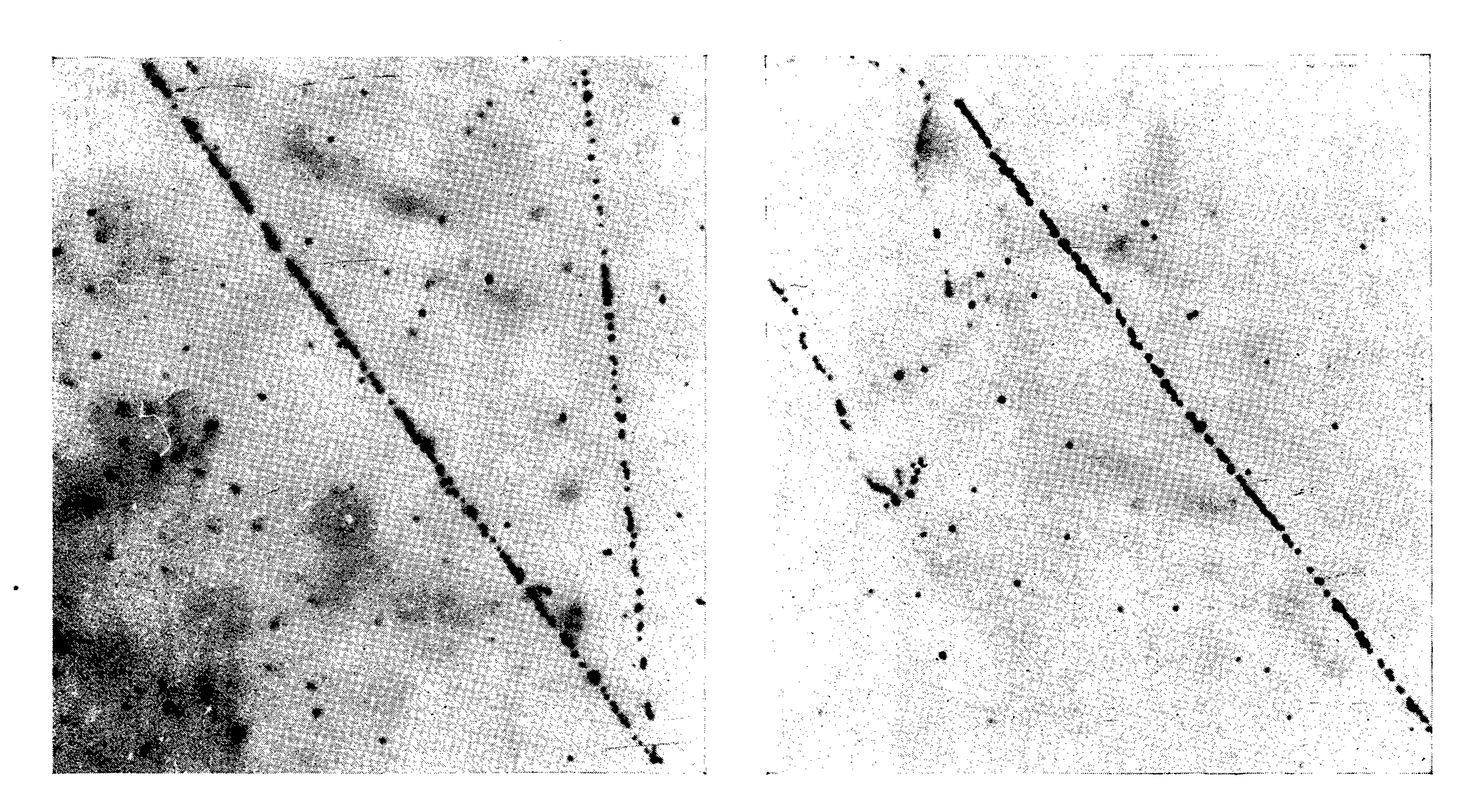


Fig. 6. — G_5, Protons, N, I 6.

Fig. 7. — G_5, N, I 6.

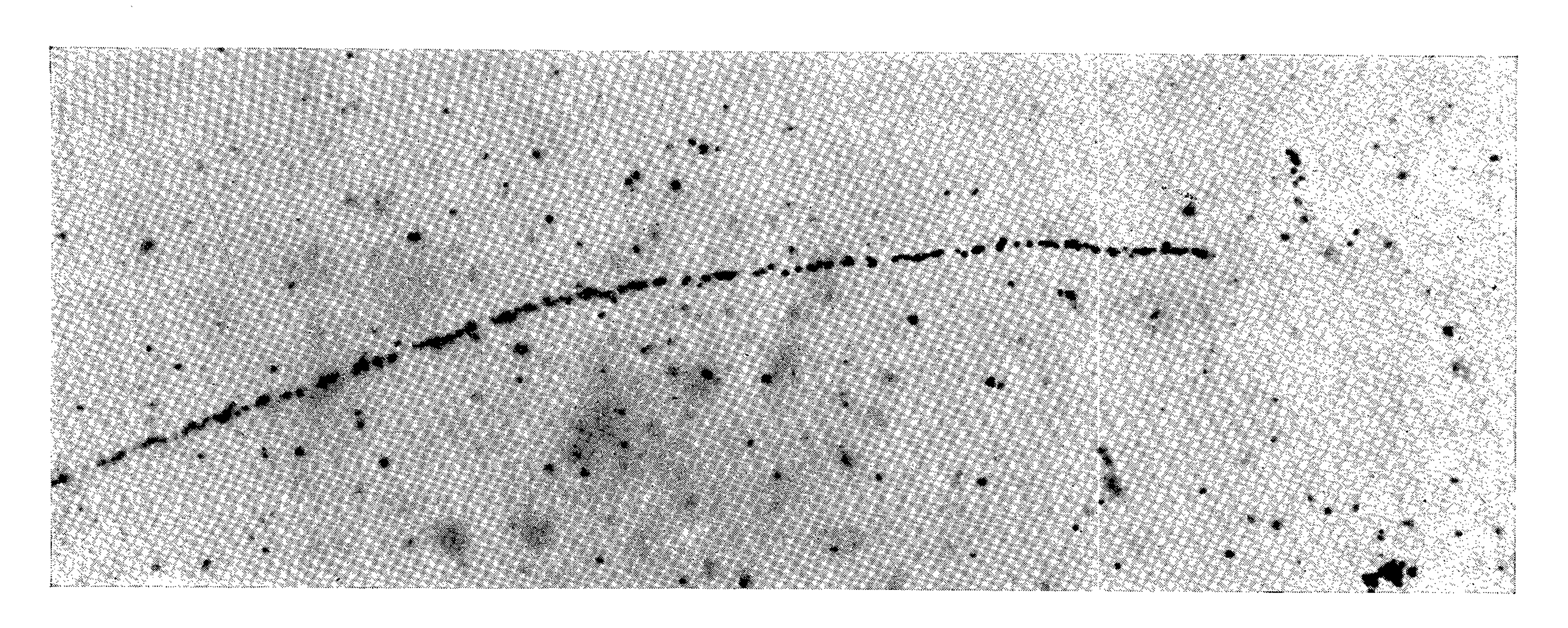


Fig. 8. — G_5, méson μ, N, I 6.

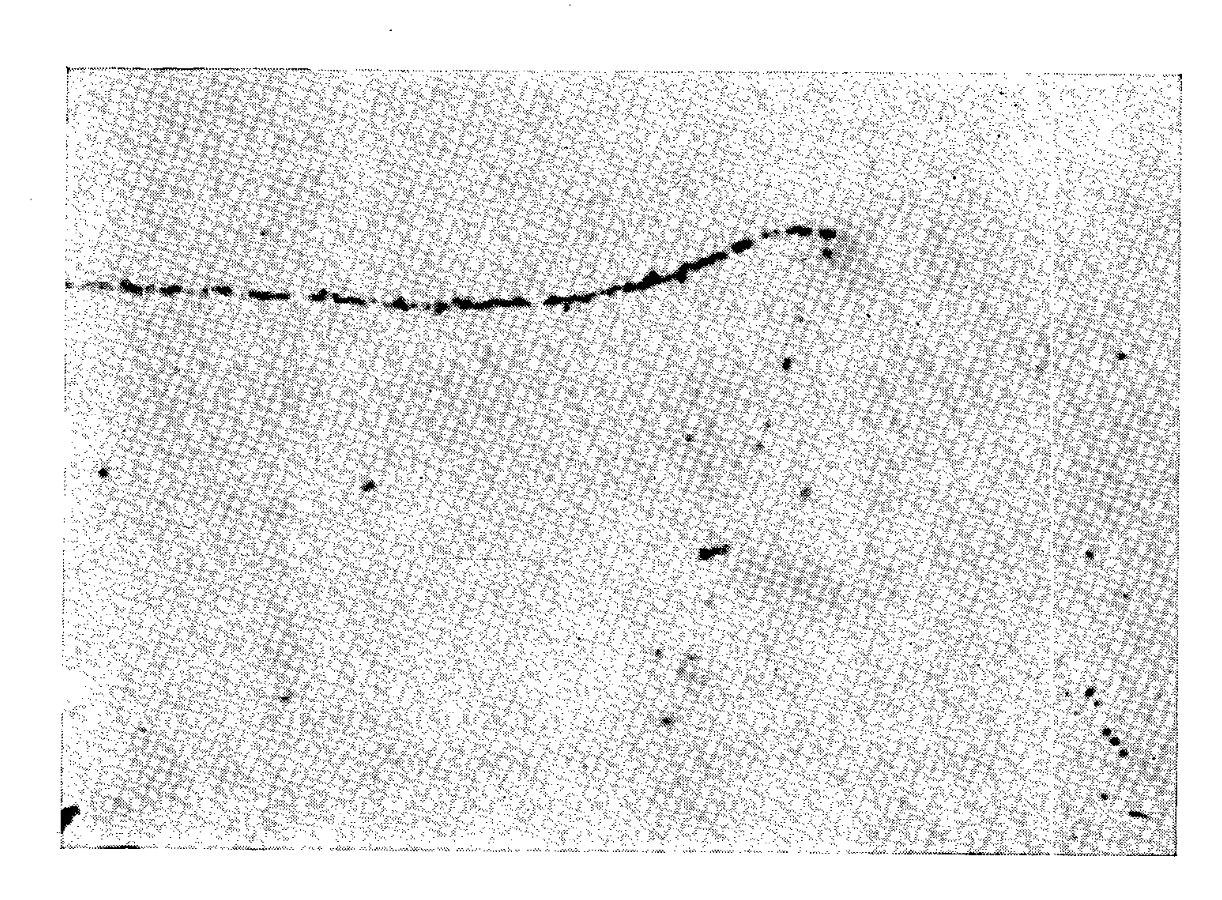


Fig. 9. — G_5, μ, N, I 8.

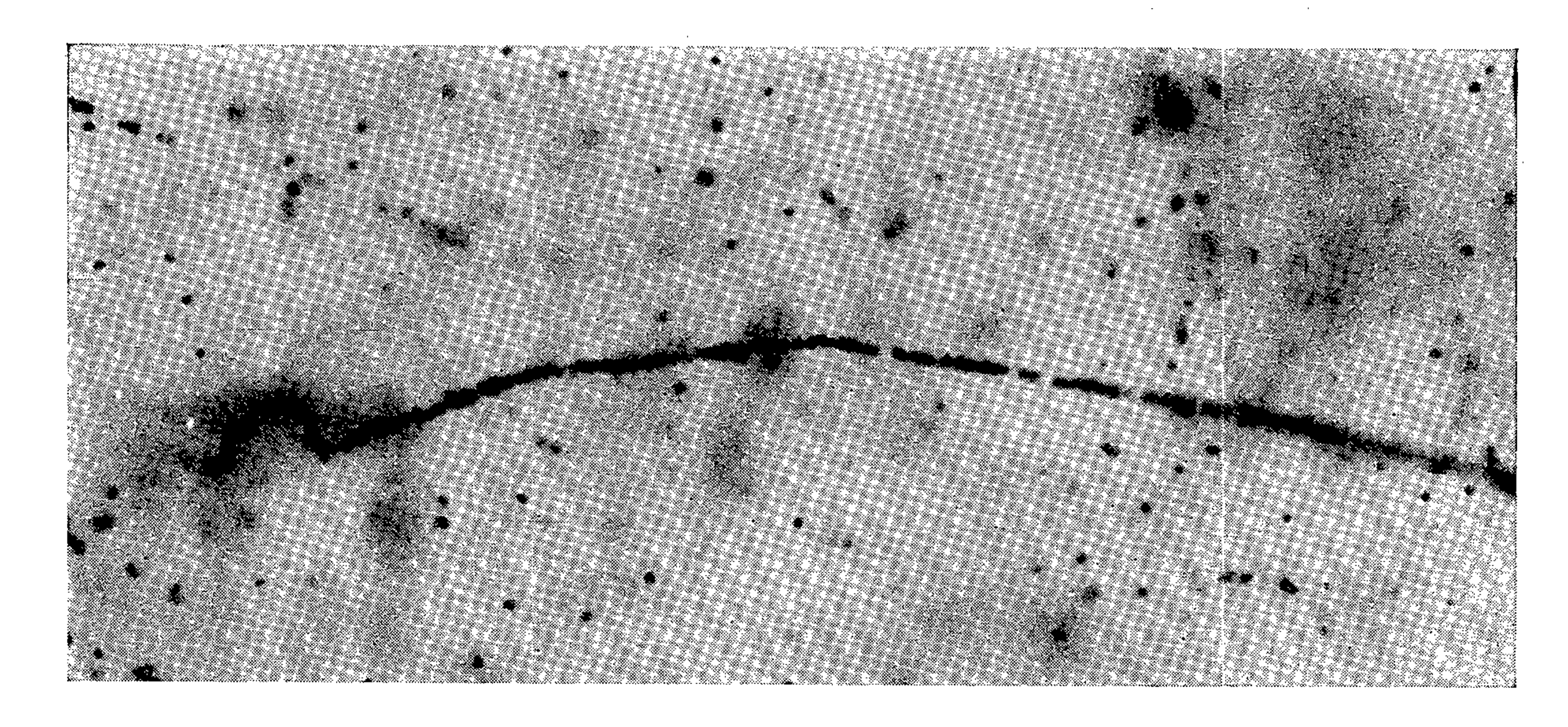


Fig. 10. — G_5, μ, N, S 28.

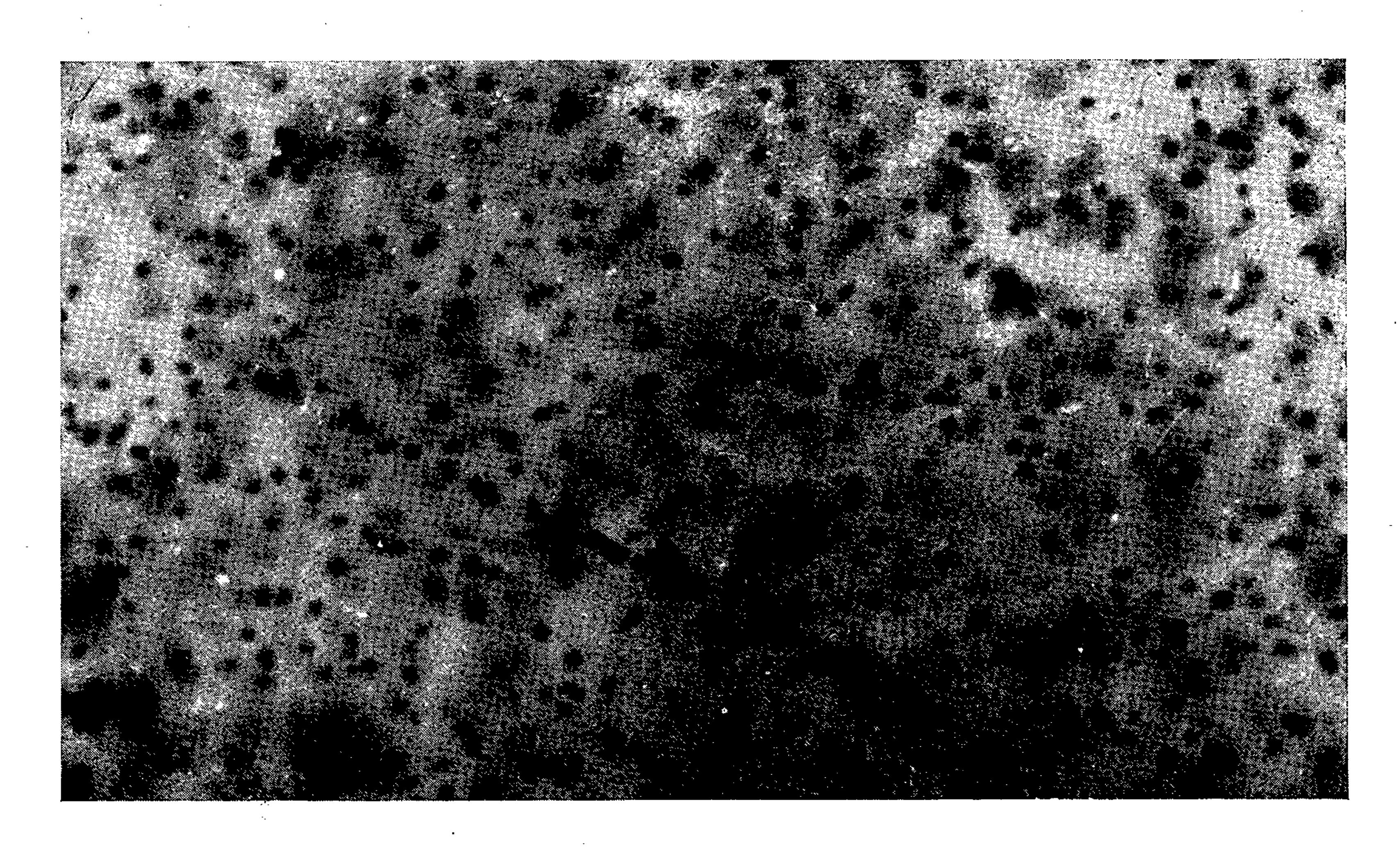


Fig. 11. — K_5, α, He, S 28.

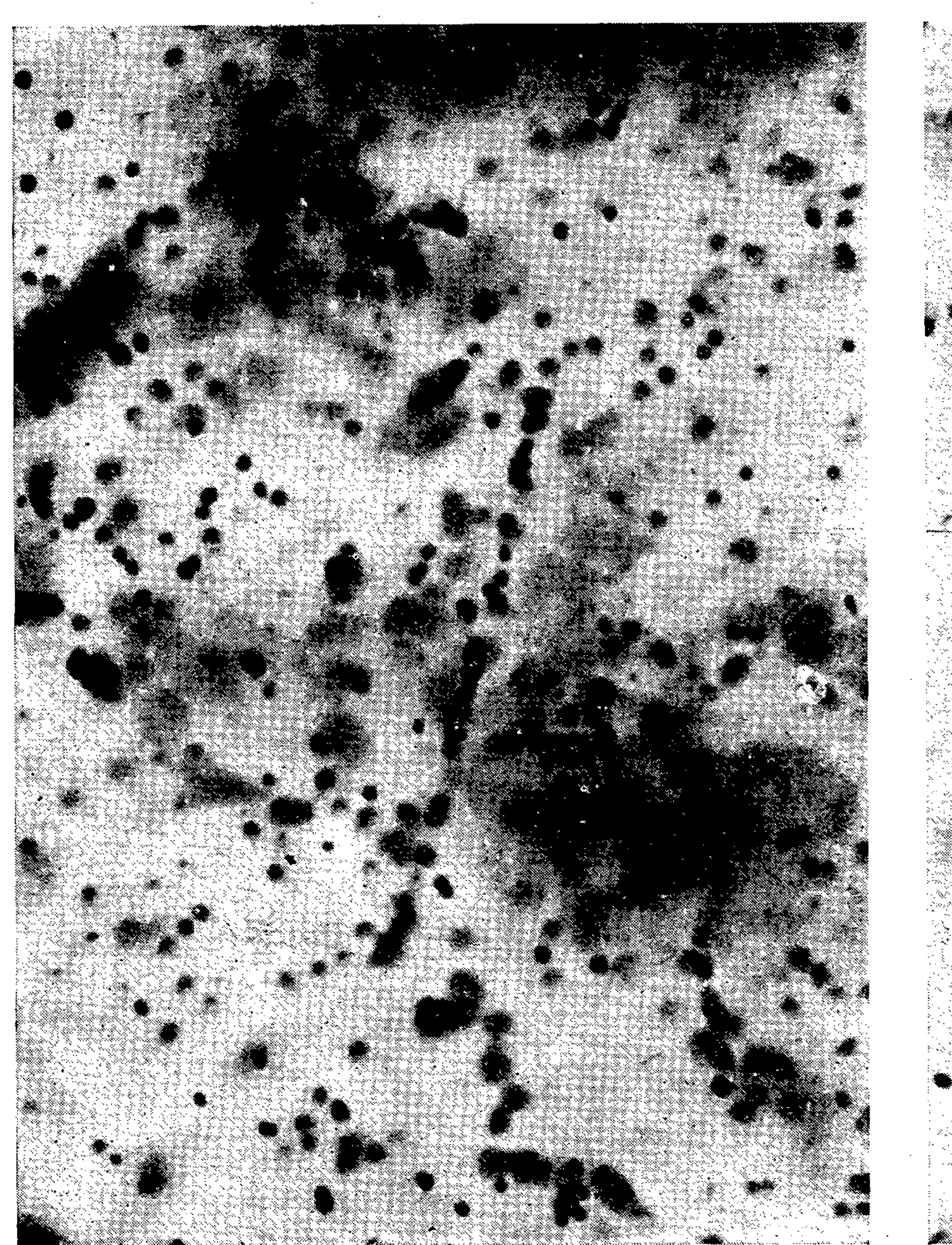


Fig. 12. — G_5, α, He, S 28.



Fig. 13. — G_5, α, He, S 28.

Fig. 8. — Émulsion G_5, méson μ en fin de parcours; température d'exposition azote : liquide. Développement : méthode isothermique à 6° C.

Fig. 9. — Émulsion G_5, méson μ en fin de parcours avec électron de désintégration; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode isothermique à 8° C.

Fig. 10. — Émulsion G_5, méson μ en fin de parcours avec électron Auger; température d'exposition : azote liquide. Développement : méthode à deux températures avec stade chaud à 28° C.

Fig. 11. — Émulsion K_5, α; température d'exposition : hélium liquide. Développement : méthode à deux températures avec stade chaud à 28° C.

Fig. 12 et 13. — Émulsion G_5, α; température d'exposition : hélium liquide. Développement : méthode à deux températures avec stade chaud à 28° C.

Remarque. — Traduction des indications codées qui accompagnent les photographies:

Nous indiquons successivement au-dessous des clichés :

— le type d'émulsion nucléaire : Exemple : G_5;

— la nature de la particule : Exemple : plateau, particule relativiste simplement chargée; avec ionisation au plateau de Fermi;

— la température d'exposition : A, température ordinaire 20° C; N, azote liquide; He, hélium liquide;

— la méthode de développement : I 6, méthode isothermique à 6° C; S 28, méthode à deux températures avec stade chaud à 28° C.

tout sous-développement. Les résultats de cette expérience peuvent se résumer dans le tableau suivant :

	Azote liquide.	Hélium liquide.
K_0............	Sensibilité nulle aux rayons α	Sensibilité nulle aux rayons α
C_2............	» » »	» » »
G_5............	Rayons α presque continus	Rayons α à structure lacunaire
K_5............	» » »	Sensibilité faible aux rayons α

Seule, l'émulsion G_5 conserve une sensibilité régulière à la température de l'hélium liquide. Les mesures d'ionisation faites sur une cinquantaine de trajectoires α de parcours supérieur à 40 μ (et donc issues de la désintégration du thorium C′) ont conduit à une densité de grains : $g = 70{,}8$ grains $\pm$ 3,0; soit environ trois fois le minimum d'ionisation.

Dans une deuxième partie, nous avons utilisé les seules émulsions G_5, coulées au laboratoire sur une surface métallique parfaitement polie, séchées pendant 40 h (60 % d'humidité relative) puis découpées en lamelles et enfermées dans un étui parfaitement hermétique aussitôt immergé dans l'azote liquide. L'exposition au rayonnement cosmique a duré trois semaines. Cette méthode a le grand avantage d'éliminer pratiquement tout bruit de fond. Nous avons utilisé ensuite deux types de développement : méthode isothermique à basse température [2] et méthode classique à deux température avec stade chaud à 28° C pendant 1 h. Les émulsions nucléaires Ilford G_5 sont sensibles au minimum d'ionisation

à la température de l'azote liquide et enregistrent régulièrement toutes les trajectoires caractéristiques du rayonnement cosmique (électrons de désintégration de mésons μ, électrons de paires, etc.).

Les mesures d'ionisation se résument ainsi :

Émulsion G_5.	Température ambiante.	Azote liquide, ionisation au « plateau de Fermi ».
Développement isothermique.........	19,8 ± 0,8 (*)	14,8 ± 0,7 (*)
» à deux températures...	31,8 ± 1,2	26,9 ± 1,0

(*) Grains par 100 μ.

On obtient donc dans le cas d'un développement modéré une sensibilité résiduelle voisine de 0,75.

Les clichés ci-dessus résument l'essentiel du travail expérimental. La comparaison des photographies 1, 2 et 3 montre l'importance d'une étude parallèle des conditions d'irradiation et de développement photographique. Il apparaît essentiel de définir, pour une température donnée d'exposition et des particules d'énergie connue, la loi de variation de l'ionisation apparente avec les conditions de développement.

(*) Séance du 5 septembre 1960.

(1) J. H. WEBB, *J. Opt. Soc. Amer.*, 28, 1938, p. 249; K. S. BOGOMOLOV, *J. N., P. F. et K.*, n° 1, 1956, p. 6; M. DEBEAUVAIS-WACK, *Il Nuovo Cimento*, 10, 1953, p. 611 et 1590; *Colloque de Photographie corpusculaire*, Strasbourg, 1957, p. 125 et 203.

(2) G. MARGUIN, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2304.

(*Laboratoire de Physique nucléaire, Faculté des Sciences de Clermont.*)

RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE. — *Origine de la largeur de raie dans la résonance nucléaire des métaux ferromagnétiques.* Note (*) de MM. **Jacques Friedel** et **Pierre G. de Gennes**, présentée par M. Francis Perrin.

On explique la largeur de raie par les variations du champ démagnétisant au voisinage de la surface.

Les raies de résonance nucléaire observées dans les métaux ferromagnétiques sont *larges* : plusieurs centaines de gauss dans le cobalt et dans le fer ([1]), ([2]). L'élargissement est toujours inhomogène ([3]), ([4]). Diverses explications en ont été proposées :

1° Effet d'un gradient de champ électrique non uniforme (dû à des défauts de réseau) sur le moment quadrupolaire du noyau. Cette explication rend peut-être compte d'une partie de la largeur de raie du cobalt, mais elle est inapplicable au fer, de spin nucléaire 1/2.

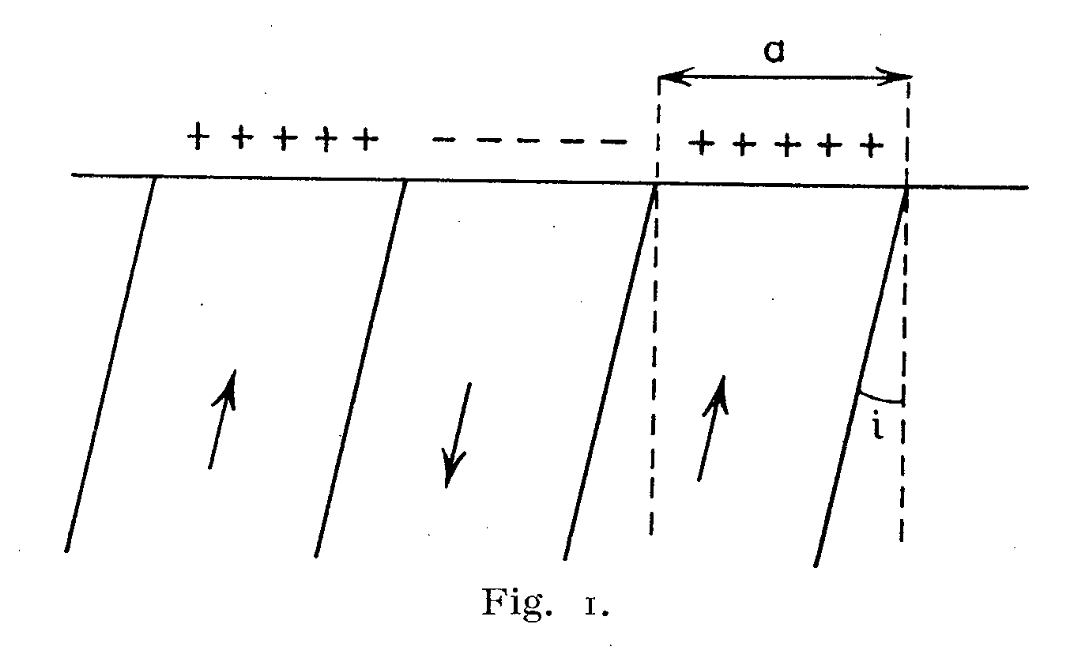


Fig. 1.

2° Effet de la variation de la longueur de l'aimantation électronique dans la paroi de Bloch, entraînant un étalement du champ hyperfin subi par les noyaux de la paroi (qui sont seuls détectés) ([5]). On s'attend à ce que la largeur correspondante s'annule aux basses températures, ce qui n'est pas observé.

Nous proposons ici une autre explication, fondée sur la remarque suivante : le champ qui s'exerce sur les noyaux est la somme d'un terme hyperfin (prédominant), du champ extérieur H_e et du champ démagnétisant. Ce dernier compense exactement le champ H_e à l'intérieur d'un grain ([6]). (On vérifie d'ailleurs que la fréquence de résonance est dans de larges limites indépendante de H_e.) Il n'en est plus de même au voisinage de la surface, où alternent des extrémités de domaines portant des masses magnétiques des deux signes (*fig.* 1). Or dans un matériau conducteur, en raison de l'effet de peau, seule la surface des grains est observée; ceci

explique que l'élargissement se retrouve même sur des grains de gros diamètre ([7]).

La largeur de raie est donc liée essentiellement à la structure des domaines superficiels, qui est complexe et relativement mal connue. Il est possible néanmoins de situer les ordres de grandeur et la forme de raie en considérant quelques cas particuliers très simplifiés.

1° Pour un matériau de *forte anisotropie* ($H_A > 4\pi M$) nous nous référerons à la figure 1. En champ nul, on rencontre des bandes de masses magnétiques superficielles de largeur a, la densité de pôles étant

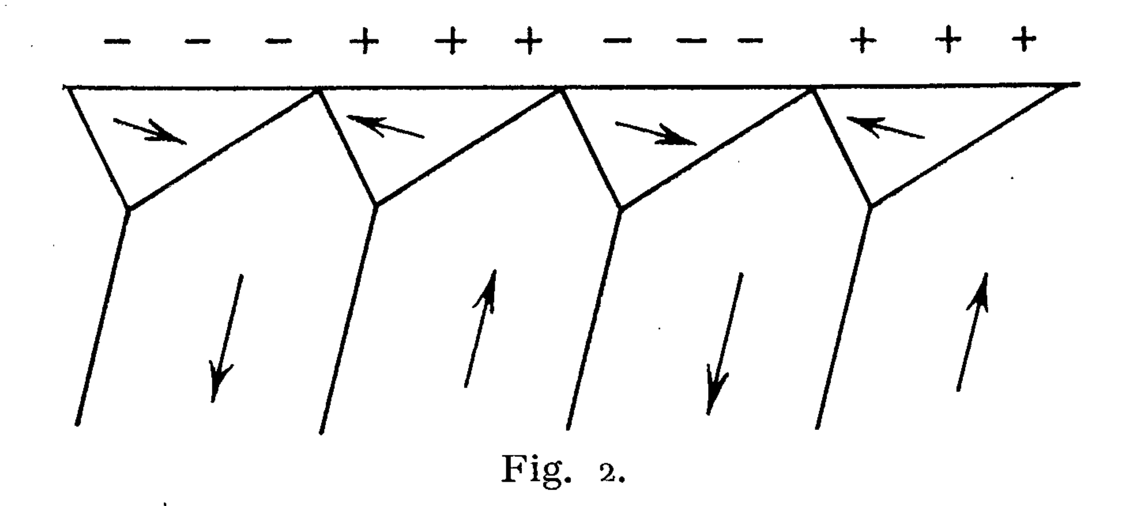


Fig. 2.

$\pm\sigma = \pm M \cos i$. A une bonne approximation, le champ intérieur à la profondeur z est donné par

$$(1)\qquad H = 8\sigma e^{-\frac{\pi z}{a}}.$$

La loi de répartition du champ est, à un facteur de normalisation près

$$(2)\qquad p_1(H) = \frac{\partial z}{\partial H} e^{-\frac{z}{\delta}},$$

où δ est de l'ordre de l'épaisseur de peau. Nous poserons $\lambda = a/\pi\delta$. On trouve alors

$$(3)\qquad p_1(H) = \begin{cases} \text{Cte} \times H^{(\lambda-1)} & (H < 8\sigma), \\ 0 & (H > 8\sigma). \end{cases}$$

Si $\lambda < 1$ (ce qui est réalisé le plus souvent à la température ordinaire), $p_1(H)$ a un maximum en champ nul. La raie a alors même forme que $p_1(H)$. Si $\lambda < 1$, le calcul de la distribution de la composante de H parallèle au champ hyperfin de chaque spin montre que la raie n'a plus même forme que $p_1(H)$. Dans tous les cas, toutefois, la largeur est de l'ordre de $\overline{8\sigma}$ (où la moyenne est à prendre sur les angles d'incidence i).

2° Pour un matériau de *faible anisotropie* ($H_A < 4\pi M$) des domaines de clôture plus complexes interviennent, tels que celui qui est représenté sur la figure 2. Un calcul variationnel simple pour ce cas (ne faisant apparaître de masses magnétiques que sur la surface extérieure) avec un matériau uniaxe d'énergie magnétocristalline $1/2\ H\ M \sin^2\theta$, donne

$$(4)\qquad H = \frac{\pi^2}{16} H_A \cos^2 i \sin i\, e^{-\frac{\pi z}{a}}.$$

D'une façon plus générale, l'équilibre est atteint lorsque l'énergie du champ démagnétisant et l'énergie magnétocristalline sont comparables; le champ démagnétisant résiduel est alors comparable au champ d'anisotropie H_A. Ceci correspond bien aux ordres de grandeur observés dans le fer et le cobalt cubique, et permet d'expliquer aussi :

1° la légère décroissance de la largeur quand la température s'élève (H_A diminuant);

2° la largeur plus élevée dans le cobalt hexagonal (H_A grand) que dans le cobalt cubique ([8]).

En conclusion, la largeur de raie dans les ferromagnétiques conducteurs fournit une information sur la distribution des champs démagnétisants au voisinage de la surface. Dans les ferromagnétiques isolants au contraire, on doit pouvoir observer la résonance des spins nucléaires compris dans les parois de Bloch internes; la largeur de raie serait alors notablement réduite, notamment aux basses températures, où le mécanisme de Suhl est inopérant ([5]).

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) A. C. Gossard et A. M. Portis, *Phys. Rev. Lett.*, 3, 1959, p. 164.

(2) C. Robert et J. M. Winter, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3831.

(3) A. M. Portis et A. C. Gossard, *Conference on magnetism and magnetic materials*, Detroit, 1959.

(4) C. Robert et J. M. Winter, *Colloque Ampère*, Pise, 1960.

(5) H. Suhl, *B. A. P. S.*, 5, 1960, p. 175.

(6) L. Néel, *J. Phys. Rad.*, 5, 1944, p. 241.

(7) J. M. Winter, Communication privée.

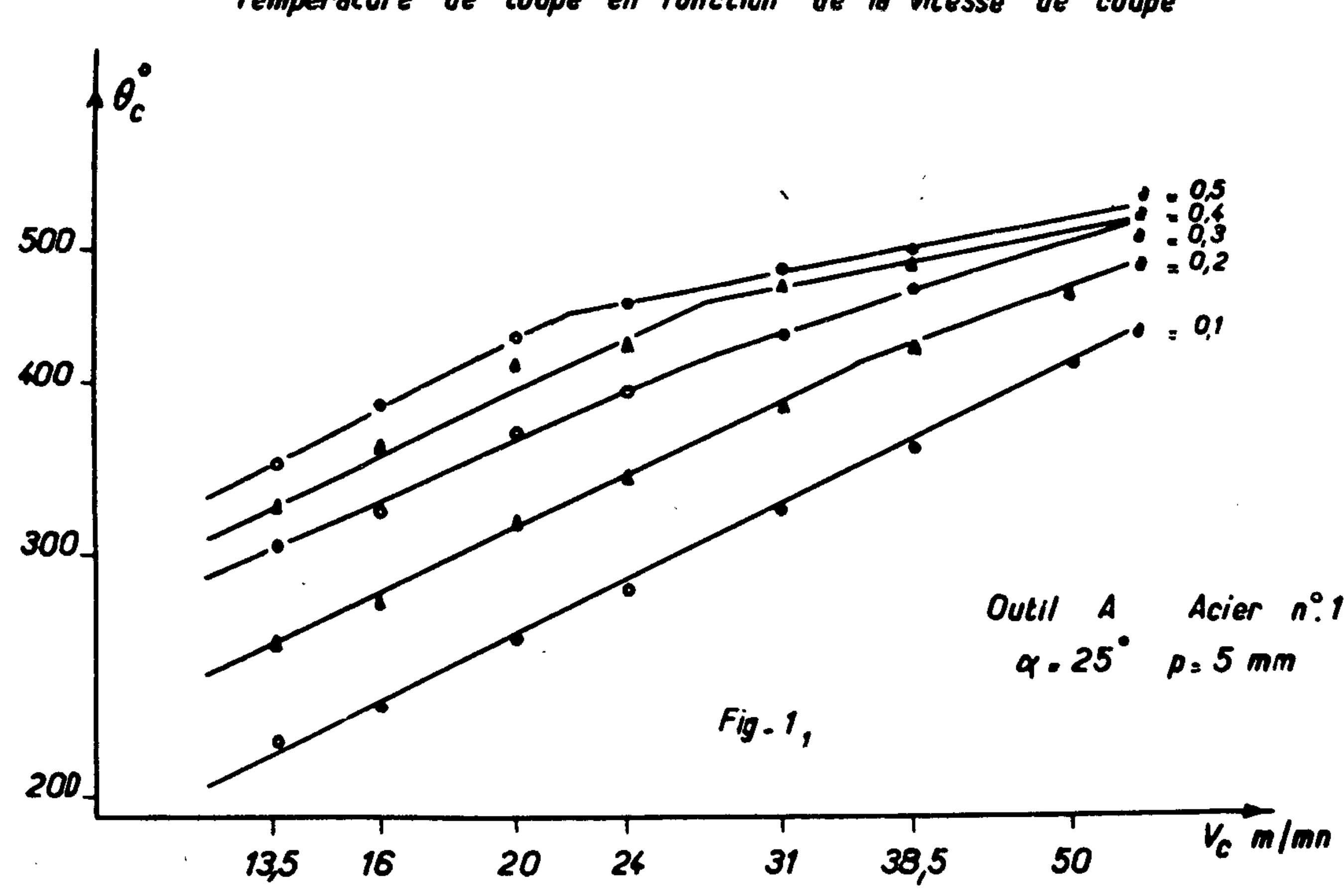
(8) Nous sommes redevables de ces deux remarques au Professeur A. M. Portis.

MÉTALLOGRAPHIE. — *Mise en évidence et mesure de deux types d'usure des outils en acier rapide.* Note (*) de MM. **Jean-Louis Pourny** et **Félix Eugène**, présentée par M. Albert Portevin.

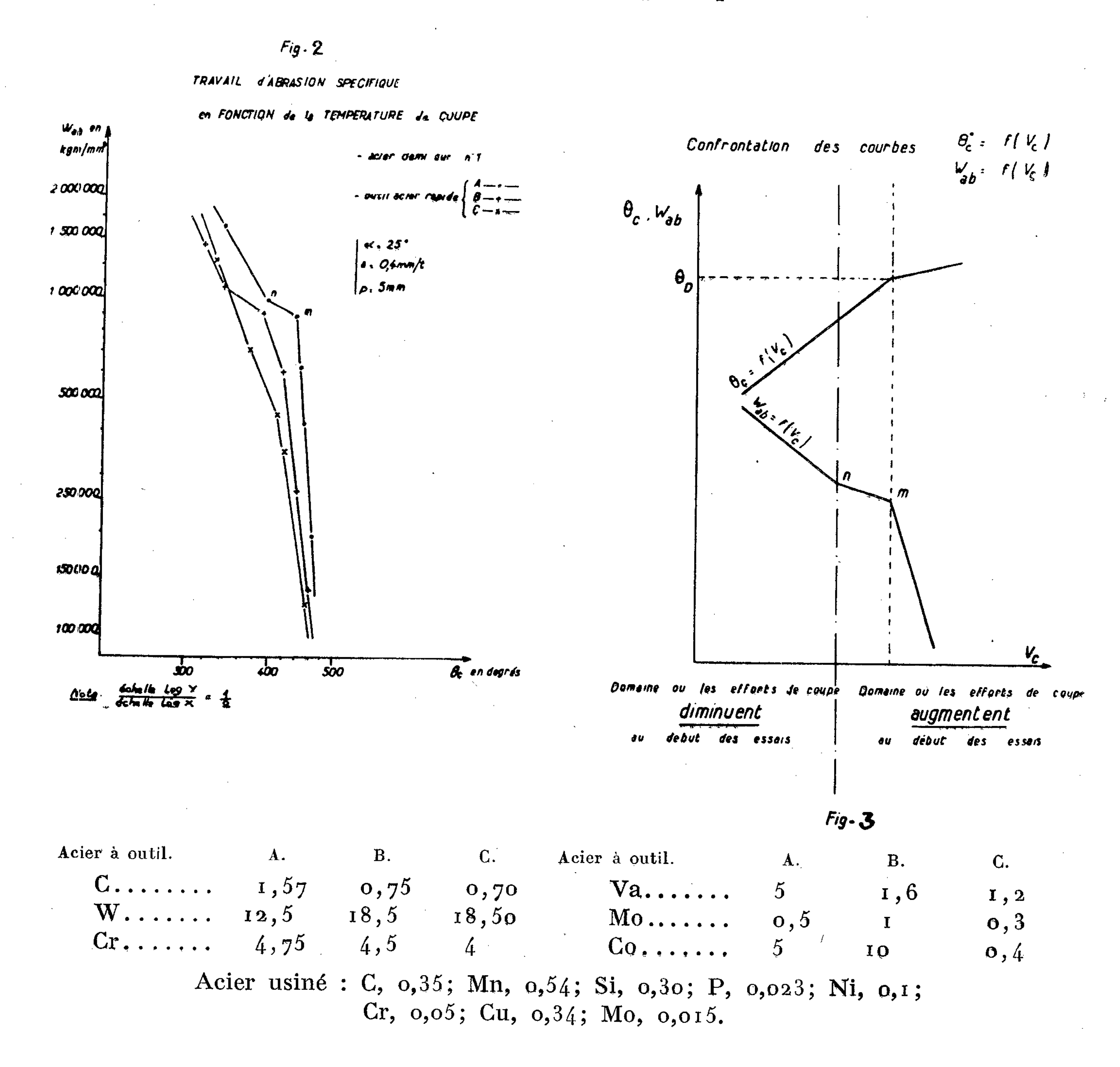
Dans une précédente Note ([1]), il avait été montré que les variations de la température de coupe en fonction de la vitesse de coupe pouvaient être modifiées par la formation de microsoudures entre le métal usiné et l'outil. Les microsoudures, de caractère endothermique, absorbent une certaine quantité d'énergie thermique issue de l'énergie de frottement et altèrent la relation $\theta_c = KV^n$.

Corrélativement, les conditions de frottement sont profondément modifiées, ce qui permet de discriminer deux types d'usure des outils de coupe, objet du présent document. Le premier type, de caractère mécanique, est provoqué par le déplacement relatif des deux parties en frottement, l'imbrication et le cisaillement des microaspérités de leurs surfaces respectives. Le second type, de caractère physicochimique, est la conséquence des mêmes cisaillements aggravés plus ou moins intensément par une diffusion intermétaux provoquant des microsoudures. Dans un cas, les particules séparées du matériau usiné, pendant la formation du copeau, sont très peu adhérentes sur l'outil, tandis que, dans l'autre elles le sont très fortement.

Des couples outil-pièce, susceptibles de provoquer une arête rapportée soudée, ont été isolés et il a été vérifié qu'une inflexion nettement caractérisée des courbes $\theta_c = f(V_c)$ se produit à partir d'une certaine avance pour des points P correspondant à des conditions de température et de pression bien déterminées pour un couple donné (*fig.* 1).



Des mesures répétées et cohérentes des usures de l'outil par la méthode de l'abrasion spécifique (travail de frottement nécessaire pour provoquer une abrasion de l'outil de 1 mg) (²), permettent de constater que l'usure augmente plus rapidement après ces points P. Les courbes des variations de l'abrasion spécifique en fonction de la vitesse de coupe sont décomposées en deux demi-droites de *pentes différentes* qui représentent deux modalités



Acier à outil.	A.	B.	C.	Acier à outil.	A.	B.	C.
C........	1,57	0,75	0,70	Va.......	5	1,6	1,2
W.......	12,5	18,5	18,50	Mo.......	0,5	1	0,3
Cr.......	4,75	4,5	4	Co.......	5	10	0,4

Acier usiné : C, 0,35; Mn, 0,54; Si, 0,30; P, 0,023; Ni, 0,1; Cr, 0,05; Cu, 0,34; Mo, 0,015.

d'usure d'outil (*fig.* 2). A une avance donnée, la température de coupe correspondant au point d'inflexion *m* de la courbe $W_{ab} = f(\theta_c)$ est identique à celle du point d'inflexion P de la courbe $\theta_c = f(V_c)$. Pour les aciers rapides à forte teneur en cobalt, les courbes de l'abrasion spécifique en fonction de la température de coupe (*fig.* 2) comportent un palier intermédiaire aux deux demi-droites, qui n'apparaît pas dans la variation de la température en fonction de la vitesse de coupe (*fig.* 1). Pour les couples outil-pièce considérés, le point *n*, où s'amorce le palier des courbes de la figure 2, correspond à un changement du sens de variation des efforts

de coupe pendant la durée de la coupe. Ces efforts mesurés en coupe montrent :

1° une décroissance des efforts au début de l'essai pour les conditions de coupe correspondant aux points situés en deçà de n;

2° une augmentation notable au début de l'essai puis une stabilisation pour les points situés au-delà de n (*fig.* 3).

Le premier stade d'usure représenté par la première demi-droite des courbes de la figure 2 est purement mécanique, les forces diminuent après les premiers temps de l'essai, consécutivement à une accommodation de l'état de surface de l'outil. Au contraire, après le point d'inflexion n qui amorce la transition entre les usures mécaniques et physicochimiques, les efforts augmentent au début de l'essai jusqu'au moment où les forces de liaison interne dans la structure de l'outil sont en équilibre avec les forces d'arrachement des soudures. La partie nm des courbes correspond à un stade où les conditions nécessaires pour la diffusion se trouvent déjà localement existantes. Mais il n'y a pas encore effet de soudure et diffusion sur une grande surface et les courbes de la figure 1 ne traduisent pas encore le phénomène, tandis que les efforts de coupe sont déjà affectés.

Le caractère physicochimique du deuxième type d'usure est mis en évidence par l'analyse micrographique de la surface de frottement de l'outil. Pour les outils en aciers rapides au cobalt, se forme, entre le matériau usiné et le matériau constituant l'outil, une couche homogène de carbures coalescés de microdureté voisine de celle des carbures observés dans les zones de l'outil non affectées par le frottement du copeau. Cette couche ne semble pas composée de particules amassées d'une manière purement mécanique. Elle serait plutôt le résultat d'une modification intense et locale de la structure, par précipitation des éléments carburigènes en solution dans la martensite, à la faveur de la diffusion du cobalt du matériau outil dans le matériau usiné.

Les conditions critiques de température nécessaires pour que l'usure de deux pièces, de compositions données, en contact de frottement, passe d'un caractère mécanique à un caractère physicochimique peuvent être analysées et chiffrées par la méthode pratiquée.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 238, 1954, p. 1965.

(2) *Revue de Métallurgie*, 49, n° 4, avril 1952, p. 267.

MÉTALLURGIE. — *Sur la mise en évidence directe de microhétérogénéités consécutives à la précipitation de carbures dans une austénite* Fe-Ni-Cr. Note (*) de MM. **Jean Philibert, Charles Crussard, Xavier Wache** et Mlle **Madeleine Gerber**, présentée par M. Albert Portevin.

L'hétérogénéité de la solution solide austénitique à 36 % de nickel et 11 % de chrome avait été mise en évidence par P. Chevenard au moyen de la méthode thermomagnétique. Des analyses à la microsonde de Castaing montrent que cette hétérogénéité se manifeste par la présence d'*auréoles déchromées* (— 3 à — 4 %) et *surnickelées* (+ 5 à + 6 %) autour des carbures précipités.

P. Chevenard a montré que l'analyse thermomagnétique permet l'étude des hétérogénéités d'une solution solide ferromagnétique (1), (2). Il a appliqué cette méthode, en particulier, à l'étude des microhétérogénéités qui accompagnent la précipitation des carbures au cours du revenu d'alliages austénitiques au nickel-chrome hypertrempés. Les figures présentées dans les Mémoires (1) et (2) montrent la variation de l'amplitude et du volume de cette hétérogénéité en fonction de la température et de la durée du

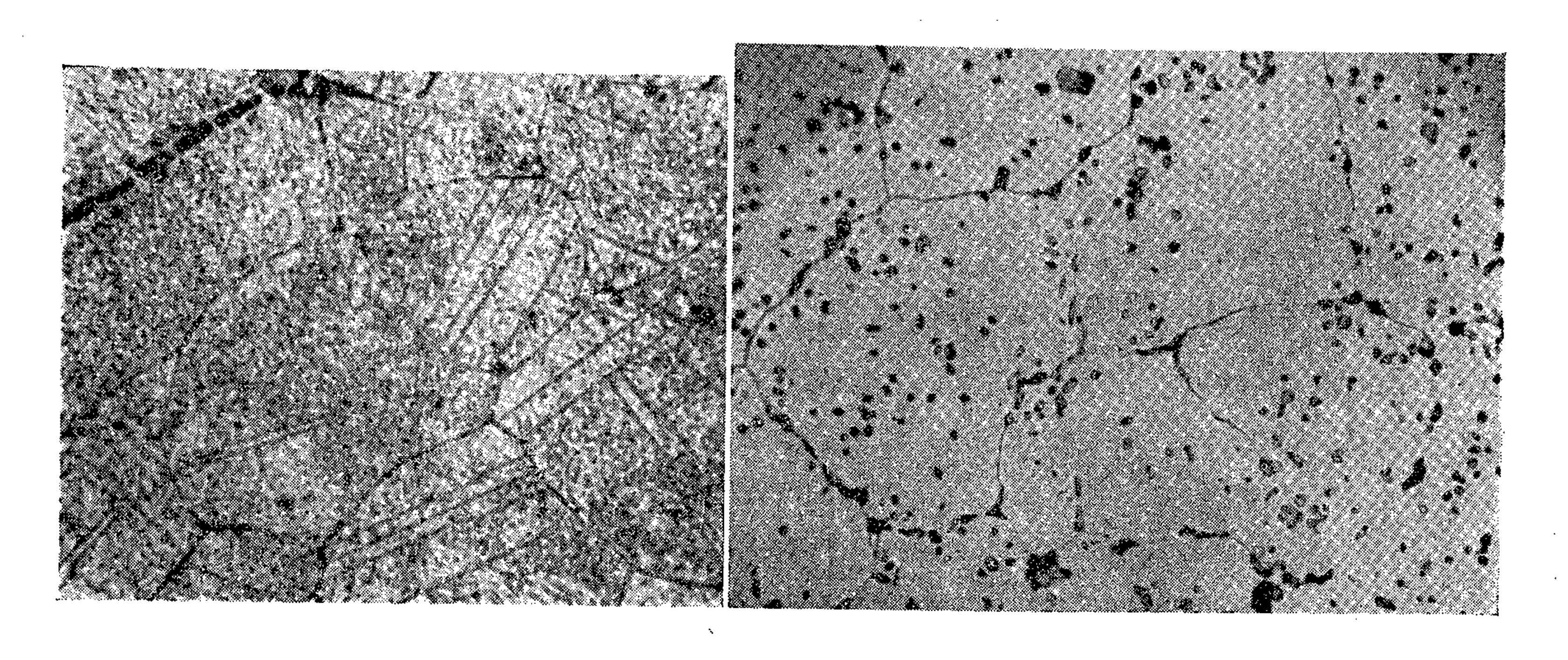


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Trempe eau 1200° (30 mn) et revenu 15 mn à 850° C; point de Curie étalé de 55 à 225° C. (G × 680.)

Fig. 2. — Refroidi à 50° C/h de 1200 à 700° C; point de Curie étalé de 105 à 225° C. (G × 330).

revenu; l'amplitude, mesurée par *l'étalement du point de Curie*, passe par un maximum en fonction du temps de revenu, ce qui s'explique, selon l'auteur, par le fait que « chaque grain de carbure se trouve entourée d'une auréole d'austénite décarburée et déchromée » (2).

Nous avons cherché à mettre directement en évidence ces auréoles, au moyen de la microsonde de Castaing (3), et à mesurer les variations de concentration en éléments d'alliage correspondantes. Pour cette étude nous avons disposé des échantillons utilisés par Chevenard, avec les courbes

thermomagnétiques relatives à chaque traitement thermique ([4]). L'examen de ces courbes permet de choisir les échantillons à forte hétérogénéité. Parmi ceux-ci, les plus favorables pour l'analyse ponctuelle seront ceux dont les carbures ne sont ni trop fins ni trop rapprochés.

De telles conditions se sont trouvées réalisées après le traitement thermique suivant : recuit de 30 mn à 1 200° C, refroidissement à 50° C/h jusqu'à 700° C pendant lequel se produit la précipitation, puis refroidissement à l'air. L'étalement du point de Curie (de 105 à 225° C) est important, sans être cependant aussi considérable qu'après une précipitation isotherme (étalement de 55 à 225° C, par exemple, après le traitement suivant : 1 200° C, trempe eau, puis revenu de 15 mn à 850° C). Par contre la coalescence des carbures est fort avancée, comme le montre la micrographie (*fig.* 1 et 2) : le diamètre des carbures peut dépasser 2 μ et de larges plages sont dépourvues de tout précipité.

Les analyses ont été effectuées successivement sur ces plages (diamètre de l'ordre de 50 μ), puis, sur de toutes petites plages (diamètre de l'ordre de quelques microns) entourées de carbures en des points de plus en plus proches de ceux-ci. Dans les premières régions, nous avons constaté l'existence d'une hétérogénéité à l'échelle de l'échantillon; suivant les plages analysées, les concentrations sont comprises entre 9, 5 et 10,3 % pour le chrome, 36,4 et 35,8 % pour le nickel. Au voisinage des carbures les concentrations sont nettement différentes et couvrent un certain domaine de valeurs : 8,7 à 7,75 % pour le chrome, 38,3 à 40,5 % pour le nickel.

L'hétérogénéité n'a pu être décelée au voisinage des joints sans carbures, mais elle apparaît nettement dès que des carbures soulignent le joint. Elle est particulièrement marquée autour des carbures précipités sous forme d'étoiles à trois branches aux points triples. Entre deux branches faisant un angle aigu, les diffusions en sens opposés additionnent leurs effets et étalent l'hétérogénéité sur de plus grandes distances. C'est ainsi que nous avons pu déceler un minimum de chrome égal à 5,5 %, un maximum de nickel à 42 %. Il est raisonnable de penser que ces concentrations sont très voisines des concentrations extrêmes à l'interface carbure/austénite.

De plus, de faibles différences de la concentration en manganèse ont été mesurées. L'ensemble de nos résultats est groupé dans le tableau ci-dessous, où figurent également les points de Curie mesurés sur les mêmes échantillons. Enfin, à titre indicatif, nous indiquons les points de Curie calculés à partir des concentrations que nous avons mesurées et des diagrammes de Chevenard ([5]). L'accord avec les points de Curie expérimentaux est satisfaisant, d'autant plus qu'on ne peut attendre une grande précision du calcul pour les raisons suivantes : 1° il existe déjà une hétérogénéité à l'échelle de l'échantillon (c'est-à-dire à l'échelle du millimètre); 2° le choix de la concentration correspondant au point de Curie le plus

élevé est un peu arbitraire, un certain volume d'alliage étant nécessaire pour que son point de Curie soit décelé; 3° le calcul a été fait en se fondant sur les mesures de Chevenard ([5]), mesures effectuées à partir d'alliages de pureté variable et différente de l'alliage étudié ici, particulièrement en ce qui concerne le manganèse.

	Analyses ponctuelles.			Point du Curie	
Région analysée.	Cr.	Ni.	Mn.	calculé (°C).	mesuré (°C).
Austénite sans carbures	10	36	1,55	130	110
« Auréole »	7	41	1,70	235	225
id. extremum	6	42	1,85	–	–

Au cours d'une récente étude ([6]), nous avons analysé des carbures du type $M_{23}C_6$ précipités durant un revenu à 750° C dans un alliage de composition voisine : nous avons déterminé les fractions atomiques dans le métal M du carbure égales à 0,74 pour le chrome, 0,22 pour le fer et 0,04 pour le nickel. Ces carbures étant très riches en chrome et très pauvres en nickel, on doit donc s'attendre à ce que, durant leur croissance, ils draînent du chrome, mais par contre rejettent du nickel dans l'austénite qui les entoure. C'est justement ce qu'établit notre étude, en montrant l'existence *d'auréoles déchromées et surnickelées* autour des carbures.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) P. Chevenard, *Comptes rendus*, 198, 1934, p. 1144; 14e *Congrès de Chimie industrielle*, Paris, 1934, n° spécial de *Chimie et Industrie*, 1, 1935.

(2) P. Chevenard, *Métaux*, 10, 1935, p. 194.

(3) R. Castaing et J. Descamps, *La Recherche aéronautique*, n° 63, 1958, p. 41-51.

(4) L'analyse de l'alliage est la suivante : C, 0,33 %; Si, 0,09 %; Mn, 1,50 %; Ni, 36,3 %; Cr, 11 %.

(5) P. Chevenard, *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, 17, 1927.

(6) J. Philibert, G. Henry et J. Plateau, Travail présenté au 5e *Congrès international de Cristallographie*, Cambridge, 1960.

(*Institut de Recherches de la Sidérurgie et Laboratoire des Aciéries d'Imphy.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Préparation et quelques propriétés des alcoxydes supérieurs de l'étain.* Note (*) de M. **Jean-Claude Maire**, présentée par M. Marcel Delépine.

Dans deux publications antérieures [1], [2], nous avons décrit la préparation des premiers termes de la série des alcoxydes de l'étain tétravalent ainsi que leur comportement vis-à-vis des organomagnésiens mixtes. La méthode à l'ammoniac qui avait servi à les préparer s'était révélée inutilisable pour la préparation des termes supérieurs. Nous avons pu néanmoins les obtenir par une autre voie, à savoir la réaction d'alcoolyse. Ceci a été rendu possible par l'obtention de deux produits de départ particulièrement faciles à obtenir et à purifier : le tétraéthoxyde d'étain et le tétraisopropoxyde d'étain; le premier possède 2 mol d'alcool éthylique de cristallisation, soit $Sn(OEt)_4 + 2\,EtOH$; le second, 1 mol d'alcool isopropylique, soit $Sn(O\,Pr_{iso})_4 + Pr_{iso}OH$.

Ces deux composés sont obtenus par action de l'alcoolate de sodium correspondant sur une solution de tétrachlorure d'étain dans l'alcool, le sodium et le tétrachlorure étant employés dans les proportions correspondant à la réaction de formation de l'alcoxyde :

$$SnCl_4 + 4\,RONa \rightarrow 4\,NaCl + Sn(OR)_4$$

suivant le mode opératoire suivant :

On ajoute à 156 g d'alcool éthylique 111,5 g de tétrachlorure d'étain. Il se forme le composé $SnCl_4.2\,C_2H_5OH$, solide cristallisé. On ajoute alors 50 ml d'alcool pour redissoudre les cristaux. Puis on ajoute l'éthylate de sodium, obtenu à partir de 39,6 g de sodium et 720 ml d'alcool. Après chauffage sous reflux pendant 12 h et filtration à chaud suivie de refroidissement on obtient des cristaux incolores de diéthylate de tétraéthoxyde d'étain. Le même mode opératoire est applicable à l'isopropylate, mais il faut en préparant l'isopropylate de sodium employer deux fois plus d'alcool en raison de la faible solubilité de celui-ci. Il est essentiel pour le succès de ces préparations de respecter rigoureusement les proportions.

Pour passer aux alcoxydes supérieurs il suffit de chauffer ces composés avec la quantité voulue d'alcool à substituer. On recueille l'alcool volatil libéré dans un récepteur gradué, la réaction est terminée quand on a recueilli le volume d'alcool correct, ce qui demande à peu près 12 h. En suivant le volume d'alcool libéré en fonction du temps on peut se faire une idée de la cinétique de la réaction ainsi que nous l'avons indiqué dans une Note antérieure [3].

Nous opérons à des températures situées 10° en dessous de la température d'ébullition de l'alcool à substituer. Nous avons pu obtenir ainsi les alcoxydes supérieurs qui contrairement aux premiers termes sont des

liquides distillables quoique pour certains il faille recourir à la distillation moléculaire ainsi qu'il ressort du tableau ci-dessous. De plus si l'on mesure par ébullioscopie, ainsi que nous l'avons fait pour les premiers termes, le degré d'association de ces produits, on trouve qu'ils ne sont pas très éloignés de l'état monomère.

Composés.	É (°C/mm Hg).	C.M.	Remarques.
$Sn(OAm_n)_4$	230/0,7	1,5	Liquide jaune
$Sn(OAm_{iso})_4$	204/2,0	1,05	» »
$Sn(O.CHMePr_n)_4$	205/1,5	1,15	» »
$Sn(O.Am_t)_4$	160/0,6	1,0	» jaune rouge
$Sn(OHex_n)_4$	230/0,1	1,2	» jaune
$Sn(O.CHMeBu_n)_4$	$120/10^{-3}$	1,0	Solide F 50°C
$Sn(OHept_n)_4$	$130/0,4.10^{-3}$	1,0	Liquide jaune brun
$Sn(O.CHEtBu_n)_4$	$135/10^{-3}$	1,0	» »
$Sn(O.Oct_n)_4$	$150/0,4.10^{-3}$	1,0	» »

Pour les cinq premiers termes de cette série nous avons étudié le comportement de ces alcoxydes vis-à-vis des organomagnésiens mixtes correspondants; ceux obtenus par distillation moléculaire l'ont été en quantité trop faible pour permettre cette étude. On obtient les organostanniques avec un rendement de l'ordre de 65 %. Le tétra-amyl tertiaire-étain n'avait jamais été préparé. C'est un liquide incolore bouillant à 157° sous 19 mm Hg. Nous avons également étudié l'action du bromure d'éthyle-magnésium sur ces composés. On obtient dans tous les cas du tétra-éthyl-étain avec un rendement de l'ordre de 70 % qui varie très peu avec l'alcoxyde de départ.

Ces résultats feront ultérieurement l'objet d'une publication détaillée.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) A. Maillard, A. Deluzarche et J.-Cl. Maire, *Bull. Soc. Chim.*, 1958, p. 853 et 855.

(2) J.-Cl. Maire, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1359.

(3) A. Deluzarche, L. Golder et J.-Cl. Maire, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4376.

(*Institut de Chimie, Strasbourg.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la réactivité des aryloxyméthyl-3 hydroxyméthyl-3 oxétannées.* Note de Mme **Jacqueline Seyden-Penne**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'auteur étudie l'action de différents agents nucléophiles sur les aryloxyméthyl-3 hydroxyméthyl-3 oxétannes.

Dans un récent travail [1] nous avons décrit avec MM. J. Cheymol, P. Piganiol et P. Chabrier, la préparation et quelques propriétés des aryloxyméthyl-2 dialcoylaminométhyl-2 propanediols-1.3 (I). Ces composés s'obtiennent à partir des aryloxyméthyl-3 hydroxyméthyl-3 oxétannes (II) dont nous examinerons la réactivité.

$$\underset{\text{(I)}}{(HOCH_2)_2C(CH_2OAr)(CH_2NR_2)} \qquad \underset{\text{(II)}}{O(CH_2)_2C(CH_2OAr)(CH_2OH)}$$

Ces dérivés (II) possèdent deux fonctions éther-oxyde : l'une interne, l'autre éther de phénol. Il nous a paru intéressant d'étudier l'action de différents réactifs en milieu acide ou en milieu alcalins ur cette molécule.

1. Réactivité de l'acide conjugué de l'oxétanne. — En milieu acide, il a été montré [2], [3] que, comme les oxydes d'éthylène, les oxétannes réagissent sous forme d'acide conjugué (III).

$$\underset{\text{(III)}}{H^+O(CH_2)_2C(R)(R')}$$

a. Hydrolyse. — L'acide sulfurique dilué en présence de *p*-dioxanne et à chaud conduit à l'aryloxyméthyl-2 hydroxyméthyl-2 propane-diol-1.3 (IV). On peut considérer cette réaction comme du type SN_1 — ou, selon la dénomination de l'école anglaise AC_1 [3]

$$H^+O(CH_2)_2C(CH_2OAr)(CH_2OH) \rightarrow HOCH_2(\overset{\oplus}{C}H_2)C(CH_2OAr)(CH_2OH) \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{(IV)}}{(HOCH_2)_2C(CH_2OAr)(CH_2OH)} + H^+$$

La fonction éther de phénol n'est pas attaquée. Nous avions déjà préparé les dérivés (IV) par une autre méthode [4] et avons pu les identifier par leur point de fusion mélangé.

b. Action des acides chlorhydrique ou bromhydrique concentrés. — On obtient par action des acides bromhydrique à 25 % ou chlorhydrique concentré sur les oxétannes (II) à froid, soit en phase hétérogène, soit

dans le dioxanne aqueux les aryloxyméthyl-2 halogénométhyl-2 propanediols-1.3 (V, X = Cl ou Br).

$$\begin{array}{c} HOCH_2 \diagdown \quad \diagup CH_2OAr \\ C \\ HOCH_2 \diagup \quad \diagdown CH_2X \end{array}$$

(V)

Il est à noter que non seulement la fonction éther de phénol n'est pas clivée, mais que le dérivé du gaïacol Ar = $C_6H_4OCH_3$ (*o*) n'est pas déméthylé dans ces conditions.

c. Action des alcools en milieu acide. — De même, l'éthanol absolu en présence d'acide sulfurique et à froid permet d'accéder aux diéthers mixtes : les éthoxyméthyl-2 aryloxyméthyl-2 propanediols-1.3 (V, X = OC_2H_5) aisément identifiables à l'état de bis-*p*-nitrobenzoates.

2. Action des agents nucléophiles en milieu alcalin. — *a. Action des amines secondaires.* — Les amines secondaires attaquent le cycle oxétanne en phase aqueuse, mais la réaction n'a lieu qu'à une température au moins égale à 170°. Searles [5] a montré que l'oxétanne non substitué réagit à 150°.

$$O\begin{array}{c}\diagup CH_2 \diagdown \\ \\ \diagdown CH_2 \diagup\end{array}C\begin{array}{c}\diagup CH_2OAr \\ \\ \diagdown CH_2OH\end{array} + R_2NH \rightarrow \begin{array}{c} R_2\overset{\oplus}{N}HCH_2 \diagdown \quad \diagup CH_2OAr \\ C \\ \underset{\ominus}{O}CH_2 \diagup \quad \diagdown CH_2OH \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} R_2NCH_2 \diagdown \quad \diagup CH_2OAr \\ C \\ HOCH_2 \diagup \quad \diagdown CH_2OH \end{array}$$

Ici encore, dans la majorité des cas, la fonction éther de phénol est inattaquée. Toutefois, si le noyau phényl est substitué, on peut observer des réactions secondaires à ce niveau. Par contre, si Ar = α-$C_{10}H_7$, il se produit une aminolyse et l'on obtient alors le bis-diméthylaminométhyl-2.2 propanediol-1.3 (VI).

$$O\begin{array}{c}\diagup CH_2 \diagdown \\ \\ \diagdown CH_2 \diagup\end{array}C\begin{array}{c}\diagup CH_2OC_{10}H_7\text{-}\alpha \\ \\ \diagdown CH_2OH\end{array} \xrightarrow[H_2O]{(CH_3)_2NH} \begin{array}{c} HOCH_2 \diagdown \quad \diagup CH_2N(CH_3)_2 \\ C \\ HOCH_2 \diagup \quad \diagdown CH_2N(CH_3)_2 \end{array}$$

(VI)

b. Action des phénates alcalins. — L'attaque (II), nucléophile de l'oxétanne par l'ion phénoxyde nécessite également une température supérieure à 175°, de même que le bis-hydroxyméthyl-3.3 oxétanne [4], tandis que Searles [2a] n'opère qu'à 150° dans le cas de l'oxétanne non substitué. On obtient ainsi le diéther (V, X = OAr) aisément caractérisable à l'état de bis-*p*-nitrobenzoate.

3. Réactivité de la fonction alcool primaire. — Devant cette inertie relative du cycle oxétanne en milieu alcalin, nous avons pu préparer différents dérivés de l'alcool primaire sans altération du cycle.

Par acétylation en milieu pyridiné, on peut doser l'hydroxyle [6].

Les chlorures de benzoyle ou de *p*-nitrobenzoyle en présence de base tertiaire permettent d'accéder aux esters correspondants [VII, R = C_6H_5 ou $C_6H_4NO_2$ (*p*)] seuls ces derniers sont solides.

Enfin l'action du phosgène dans le toluène en présence de triéthylamine puis de l'ammoniaque à froid permet d'accéder aux carbamates (VII, R = NH_2)

$$O\begin{matrix}\diagup CH_2 \diagdown \\ \diagdown CH_2 \diagup\end{matrix}C\begin{matrix}\diagup CH_2OAr \\ \diagdown CH_2OCOR\end{matrix}$$

(VII)

CONCLUSION. — La substitution en position 3 des deux atomes d'hydrogène de l'oxétanne par des groupements aryloxyméthyl et hydroxyméthyl modifie peu la réactivité de l'acide conjugué (III) du cycle vis-à-vis des agents nucléophiles. Toutefois les réactifs nucléophiles neutres ou chargés négativement n'agissent que dans des conditions plus rigoureuses. Dans l'ensemble, tout comme l'oxétanne, ces dérivés ont une réactivité intermédiaire entre celle des oxydes d'éthylène et celle des éther oxydes.

(1) J. CHEYMOL, P. PIGANIOL, P. CHABRIER, J. SEYDEN-PENNE, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1498; *Bull. Soc. Chim.* (sous presse).

(2) *a*. S. SEARLES et C. F. BUTLER, *J. Amer. Chem. Soc.*, 76, 1954, p. 56; *b*. S. SEARLES, K. A. POLLART et F. BLOCK, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 952.

(3) F. A. LONG, J. G. PRITCHARD et F. E. STAFFORD, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 2362.

(4) J. CHEYMOL, P. CHABRIER et J. SEYDEN-PENNE, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3462; *Bull. Soc. Chim.*, 1959, p. 1184.

(5) S. SEARLES et V. P. GREGORY, *J. Amer. Chem. Soc.*, 76, 1954, p. 2789.

(6) M. PESEZ et P. POIRIER, *Méthodes et réactions de l'analyse organique*, I, p. 174, Masson, Paris, 1952.

(*Institut de Pharmacologie, Faculté de Médecine, Paris.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la formation sélective des indoles 2.3-disubstitués dans la cyclisation des arylhydrazones des alkyl-méthylcétones.* Note de MM. **Nguyen P. Buu-Hoï** et **Pierre Jacquignon**, présentée par M. Marcel Delépine.

Il est montré que dans la cyclisation des arylhydrazones des alkyl-méthylcétones sous l'action de l'acide chlorhydrique gazeux dissous dans l'acide acétique, il se forme préférentiellement les alkyl-3 méthyl-2 indoles correspondants, à l'exclusion des indoles 2-monosubstitués isomères. Certaines applications de cette constatation à la synthèse et à l'analyse fonctionnelle sont indiquées.

On sait que la cyclisation des arylhydrazones des alkyl-méthylcétones de formule générale $CH_3—CO—CH_2—R$ (R = radical alkyle), lorsqu'elle est réalisée à l'aide du chlorure de zinc ou d'autres sels métalliques, affecte à la fois le groupement méthyle et le groupement méthylène; par exemple, la phénylhydrazone de la méthyl-éthylcétone fournit principalement la diméthyl-2.3 indole, mais également environ 20 % d'éthyl-2 indole ([1]). En général, les mélanges d'indoles ainsi obtenus sont très difficiles à résoudre en leurs éléments, et par conséquent, il n'est guère surprenant qu'à part les tout premiers termes de la série, les alkyl-3 méthyl-2 indoles ont rarement pu être préparés à l'état de pureté.

Au cours de nos recherches sur la réaction de Fischer, nous nous sommes aperçus que, lorsqu'on utilise comme catalyseur de cyclisation une solution de gaz chlorhydrique dans l'acide acétique glacial, la réaction ne se fait qu'au niveau du groupement méthylène voisin de la fonction cétone, alors que le radical méthyle reste tout à fait inerte. Par exemple, à partir de la phénylhydrazone de la méthyl-éthylcétone, on obtient exclusivement

—CH_3 —CH_3 NH (I)

—R —CH_3 NH

(II) $R = C_6H_{13}$, (IV) $R = C_{14}H_{29}$
(III) $R = C_{10}H_{21}$, (V) $R = C_{16}H_{33}$

le diméthyl-2.3 indole (I) (fondant à 109°); à partir de la phénylhydrazone de l'acétone elle-même, il ne s'est formé aucun produit d'indolisation, et, après traitement par l'eau alcaline du produit résultant de l'ébullition du réactif de cyclisation avec cette phénylhydrazone, on n'obtient que de la phénylhydrazine régénérée, de l'aniline, de l'ammoniaque, et des traces de substances appartenant au groupe de la quinoléine.

La distinction qu'on peut ainsi faire entre un radical méthyle et un groupe méthylène permet une synthèse facile des alkyl-3 méthyl-2 indoles à l'état de pureté. La technique expérimentale est très simple : elle consiste à chauffer pendant quelques minutes à ébullition un mélange de l'aryl-

hydrazone à cycliser avec un grand excès d'acide acétique glacial saturé au préalable avec du gaz chlorhydrique sec; on verse ensuite dans la soude aqueuse diluée, reprend l'indole formé dans du benzène, sèche la solution benzénique sur Na_2SO_4, chasse le solvant, et distille le résidu sous vide. Les rendements en indoles varient de 70 à 85 % de la théorie. En appliquant cette méthode aux phénylhydrazones de la méthyl-heptylcétone, de la méthyl-undécylcétone, de la méthyl-pentadécylcétone et de la méthyl-heptadécylcétone, nous avons pu préparer ainsi les indoles suivants :

1° *l'hexyl*-3 *méthyl*-2 *indole* (II), huile jaune pâle, $É_{15}$ 202°; n_D^{24} 1,5675 ($C_{15}H_{21}N$, calculé %, N 6,5; trouvé %, N 6,7); son *picrate* cristallise de l'éthanol en fines aiguilles brun violacé, F 125° ($C_{21}H_{24}N_4O_7$, calculé %, N 12,6; trouvé %, N 12,9). La phénylhydrazone de départ est une huile $É_{15}$ 193°, n_D^{27} 1,5535;

2° *le décyl*-3 *méthyl*-2 *indole* (III), huile jaune pâle, $É_{15}$ 239°, n_D^{25} 1,5425 ($C_{19}H_{29}N$, calculé %, N 5,2; trouvé %, N 5,3); *picrate* : prismes brun violacé (de l'éthanol), F 114°. La phénylhydrazone de départ est une huile, $É_{16}$ 239°, n_D^{26} 1,5418;

3° *le tétradécyl*-3 *méthyl*-2 *indole* (IV), $É_{15}$ 276°, cristallisant de l'éther de pétrole en aiguilles incolores, soyeuses, F 37° ($C_{23}H_{37}N$, calculé %, N 4,3; trouvé %, N 4,4); *picrate* : prismes brun violacé, onctueux (de l'éthanol), F 112° ($C_{29}H_{40}N_4O_7$, calculé %, N 10,1; trouvé %, N 9,8). La phénylhydrazone de départ est une huile visqueuse, $É_{15}$ 260°, n_D^{25} 1,5278;

4° *l'hexadécyl*-3 *méthyl*-2 *indole* (V), $É_{15}$ 284-286°, cristallisant de l'éther de pétrole en aiguilles incolores, onctueuses, F 47° ($C_{25}H_{41}N$, calculé %, N 3,9; trouvé %, N 4,0); *picrate* : prismes brun violacé, brillants (de l'éthanol), F 110° ($C_{31}H_{44}N_4O_7$, calculé %, N 9,6; trouvé %, N 10,0). La phénylhydrazone de départ a les constantes suivantes : $É_{15}$ 278°, n_D^{27} 1,5232.

Outre l'intérêt que présente notre technique pour la synthèse des alkyl-3 méthyl-2 indoles, il se dégage des observations ci-dessus un intérêt en chimie analytique, à savoir une possibilité de différencier une fonction cétone adjacente à un groupe méthyle, d'une fonction cétone adjacente à un radical méthylène. Des applications peuvent être trouvées dans la chimie des stéroïdes : par exemple l'œstrone (VI) fournit une réaction

O

HO

(VI)

CH_3

CO

HO

(VII)

positive dans notre test (coloration brune donnée par le produit de cyclisation de la phénylhydrazone correspondante), tandis que la pregnénolone (VII) fournit une réaction *négative*. Ce test peut être utile lors des déterminations de structure de produits naturels.

(1) A. Korsczynski, W. Brydowna et L. Kierzek, *Gazz. chim. ital.*, 56, 1926, p. 903.

(*Institut du Radium*, 26, *rue d'Ulm*, *Paris*, 5e.)

MINÉRALOGIE. — *Étude expérimentale de la formation des macles de croissance du gypse.* Note de M. **Raymond Kern** et Mme **Brigitte Rehn**, présentée par M. Jean Wyart.

On étudie la formation de trois types de macles du gypse. Les fréquences respectives des macles sont fonction du degré de sursaturation de la solution. Les résultats sont confrontés avec une hypothèse faite par Curien et Kern et complétés par des expériences de croissance orientée de gypse sur un clivage de gypse.

L'étude des macles et des cristaux a débuté simultanément grâce aux travaux de Romé de l'Isle et Haüy. Les observations et les mesures accumulées depuis sont extrêmement abondantes et les travaux de Mallard et G. Friedel ont réglé probablement définitivement le problème géométrique des macles. La situation est, par contre, tout à fait différente si l'on considère le problème de la génèse des macles de croissance. Aucune théorie à ce sujet ne peut être avancée, faute d'idées directrices significatives; l'expérimentation dans ce domaine n'a pas encore trouvé le chemin du laboratoire.

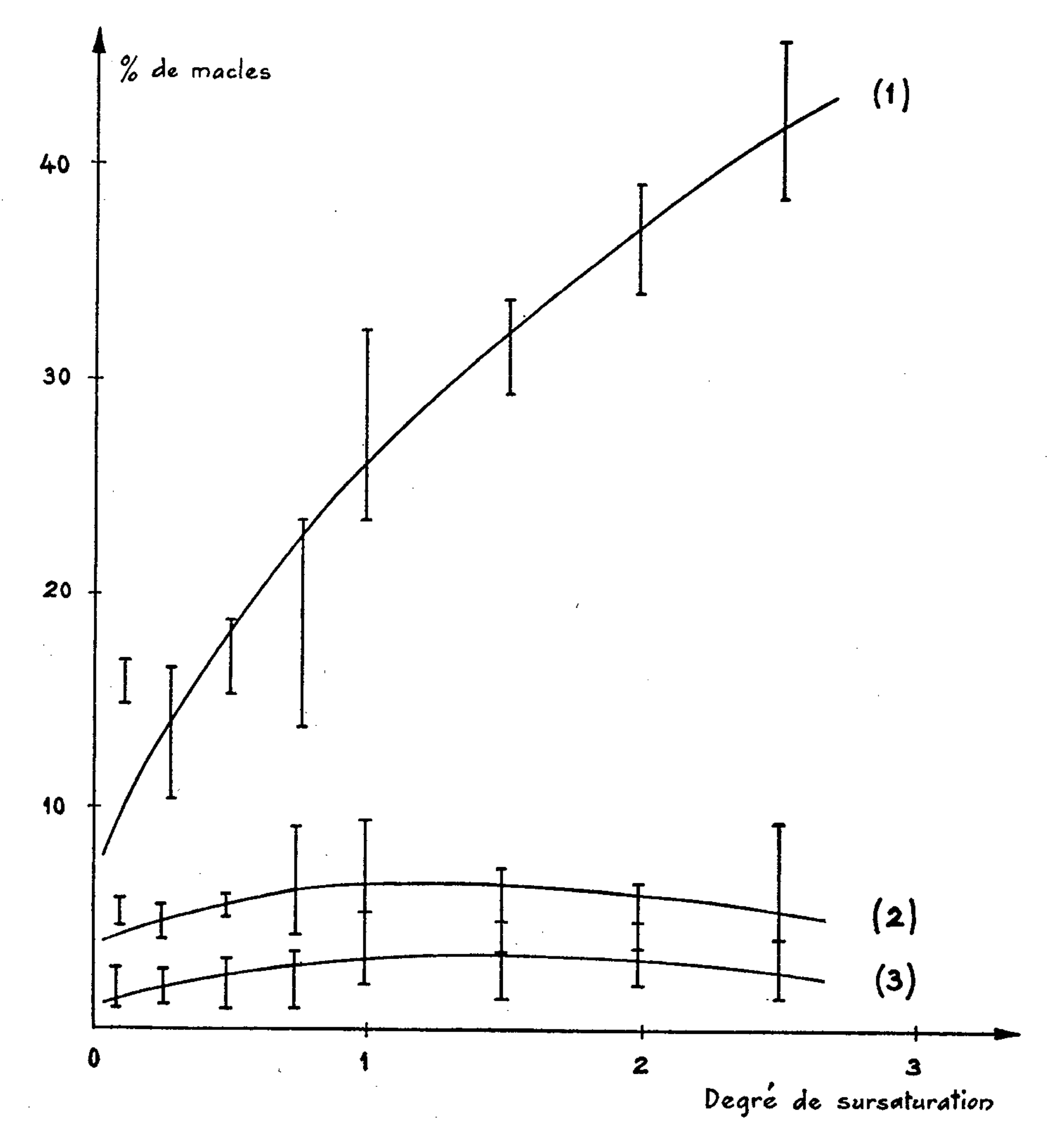
Signalons cependant les travaux sur NaCl et KCl de Löffler (1) et de Deicha (2) sur $BaCl_2$, 2 H_2O. Dans ces expériences, les conditions physiques n'ont pas été précisées suffisamment ou ont été choisies d'une manière trop compliquée pour que, à notre sens, les phénomènes essentiels puissent en être dégagés.

Ici, nous avons choisi l'exemple du gypse car non seulement ses macles sont réputées mais encore il est aisé, comme nous allons le voir, de se placer dans des conditions expérimentales ayant un sens physique précis.

Les macles du gypse sont au nombre de deux si l'on se réfère à leur définition géométrique; une première dont le plan de macle est (100), une seconde qui est caractérisée par le plan $(\bar{1}01)$ (3). Elle appartiennent au type par pseudo-symétrie d'après la classification de Friedel. Aux deux macles ainsi définies géométriquement correspondent deux aspects morphologiques différents; elles sont signalées aussi bien comme étant par contact que par pénétration. Selon Curien et Kern (4) ces deux aspects ont une signification profonde du point de vue génétique. Ainsi les deux macles par contact ont respectivement (100) et $(\bar{1}01)$ comme plans de composition originels (5) et les macles (100) et $(\bar{1}01)$ par pénétration le plan noté (010) avec respectivement [001] et [101] comme rangées de composition originelles.

Du point de vue expérimental, quelques essais préliminaires nous avaient (6) révélé que les macles du gypse se forment aisément, soit à partir de l'évaporation d'une solution du sulfate de calcium, soit par simple mélange de deux solutions contenant respectivement $CaCl_2$ et H_2SO_4

et que le facteur déterminant est la sursaturation du milieu de croissance. Afin de travailler dans des conditions physiques plus simples, nous avons dans cette étude préparé des solutions de degré de sursaturation bien déterminé par rapport à la phase $CaSO_4\ 2\ H_2O$, solutions contenant exclusivement des ions Ca^{2+} et SO_4^{2-}. A cet effet, il suffit de dissoudre dans de l'eau une certaine quantité de la phase instable $Ca\ SO_4\ 1/2\ H_2O$. A 20° C les solutions sursaturées ne manifestent aucune tendance à la précipitation de $Ca\ SO_4\ 2\ H_2O$ avant un laps de temps de plusieurs minutes. Il devient donc possible de placer cette solution sur un porte objet de microscope conçu en forme de cuvette parfaitement étanche. Dès qu'une



faible fraction de la phase gypse apparaît par cristallisation et sans attendre une précipitation massive, on procède au décompte du nombre de cristaux et de macles à l'aide d'un microscope polarisant. Cette façon de conduire les expériences nous garantit que la statistique sur les pourcentages des différentes macles se rapporte à un domaine étroit de sursaturation dans lequel les macles ont pris naissance.

Les résultats sont consignés dans la figure 1 ; en ordonnées, le nombre de macles d'un type donné sur le nombre de cristaux; en abscisses, le degré de sursaturation défini d'après $(C - C_S)/C_S$ avec C la concentration de la solution sursaturée et C_S la concentration de saturation à 20° C. Les courbes 1, 2 et 3 sont relatives aux macles $(\bar{1}01)$ pénétration, (100) pénétration et (100) contact. Chaque point des différentes courbes représente

la moyenne arithmétique de 10 expériences dont chacune comporte un décompte sur une population de 200 cristaux et macles.

La répartition des mesures s'est montrée être approximativement gaussienne avec une assez grande dispersion qui est indiquée dans la figure 1.

Les points importants que nous retenons de la figure 1 sont :

1. Le pourcentage des macles est indiscutablement fonction croissante du degré de sursaturation de la solution.

2. Chaque type de macle possède sa répartition propre, la macle (101) par pénétration étant de loin la plus fréquente; la macle $(\bar{1}01)$ par contact n'a jamais été décelée.

3. Les macles (100) par contact et par pénétration manifestent nettement une répartition distincte malgré la dispersion des résultats de mesure. Leur distinction établie par voie théorique à partir de l'hypothèse des plans de composition originels ([4]) semble donc être corroborée expérimentalement.

On peut aller plus loin dans les expériences et montrer que pour les deux macles $(\bar{1}01)$ et (100), toutes deux par pénétration, le plan de composition originel est bien (010) comme indiqué plus haut. Il suffit de réaliser une croissance orientée de gypse sur un clivage frais (010) d'un cristal préexistant. Un mode expérimental similaire à celui exposé tout à l'heure conduit avec des solutions de degré de sursaturation 2 aux faits suivants; à partir d'un nombre plus ou moins grand de cristaux orientés au hasard sur le clivage on rencontre :

a. un grand nombre de cristaux de gypse formant des plages continues dont l'orientation correspond à une croissance parallèle;

b. quelques cristaux groupés quelquefois en îlots, dont l'orientation mutuelle avec le support est caractérisée par la mise en parallèle de deux rangées [101] et du plan (010);

c. très rarement mais d'une manière indubitable, des cristaux sont orientés tel que le cristal support et le cristal dépôt possèdent la rangée [001] et le plan (010) en commun.

Les orientations *b* et *c* correspondent aux macles $(10\bar{1})$ et (100) dont le plan de composition est (010) et les rangées de composition sont [101] et [001].

([1]) *Neues Jahrh. Min.*, 68 A, 1934, p. 125.

([2]) *Bull. Soc. franç. Min. et Crist.*, 72, 1949, p. 286.

([3]) Les notations de Miller se rapportent à la maille dite de Des Cloizeaux.

([4]) *Bull. Soc. franç. Min. et Crist.*, 80, 1957, p. 111.

([5]) D'après Curien et Kern, le plan de composition originel est un plan réticulaire, important du point de vue morphologique, sur lequel les particules venant du milieu de croissance se placent en position aberrante durant la formation de la macle. Dans le plan de composition originel est situé un axe binaire de macle s'il s'agit d'une macle par pénétration qui porte le nom de rangée de composition originelle.

([6]) R. KERN, *Bull. Soc. franç. Min. et Crist.*, 76, 1953, p. 336.

BOTANIQUE. — *Une interprétation nouvelle de la morphogénèse de la coque de la noix de* Juglans. Note de M. **Louis Garavel**, présentée par M. Philibert Guinier.

La fleur femelle de *Juglans*, sessile, est disposée latéralement sur l'axe d'une inflorescence. Elle se présente sous l'aspect d'un simple pistil composé d'un ovaire en forme d'amphore surmonté par deux importants stigmates étalés en panache dans le plan passant par l'axe de l'inflorescence (plan antéro-postérieur de la fleur).

L'étude de cette fleur montre qu'elle est constituée par :

— un involucre composé d'une bractée abaxiale et de deux bractéoles situées dans le plan transverse (plan passant par l'axe de la fleur et orthogonal au plan antéro-postérieur);

— un périanthe (calice) comportant deux paires de lobes (sépales), situées, l'une dans le plan antéro-postérieur, l'autre dans le plan transverse;

— deux carpelles ouverts, soudés par leurs bords libres et disposés dans le plan antéro-postérieur.

Les pièces de l'involucre et du périanthe, soudées entre elles et aux carpelles, constituent la paroi d'un corps ovarien creux contenant un ovule central, dressé, à un seul tégument. A l'époque de la fécondation, un tissu parenchymateux, le parenchyme interne de remplissage, occupe presque entièrement la cavité ovarienne.

L'originalité de cette fleur réside dans le fait qu'elle présente deux carpelles, mais seulement un ovule. D'où les nombreuses études qui lui ont été consacrées.

Pour Van Tieghem ([1]), Benson et Welsford ([2]), Nast ([3]), l'organisation de cette fleur n'est qu'apparemment en contradiction avec la théorie de la placentation carpellaire. Ils fondent essentiellement leur argumentation sur le fait que l'ovule, bien qu'en position terminale, n'est pas relié vasculairement aux tissus sous-jacents. Pour ces auteurs, cet ovule est appendiculaire, presque anatrope, et s'il est unique, cela résulte de l'avortement des autres placentas.

Au contraire, pour Nicoloff ([4]) et Langdon ([5]), cet ovule est d'origine caulinaire et non carpellaire. Ces auteurs justifient cette interprétation par le fait que le dispositif de vascularisation alimentant l'ovule est symétrique par rapport au plan antéro-postérieur. L'ovule unique aurait donc deux funicules, ce qui paraît difficilement admissible.

Récemment, J.-F. Leroy ([6]) a repris cette étude en l'élargissant à l'ensemble des Juglandacées. Ses observations venant à l'appui soit de l'une,

soit de l'autre des deux thèses en présence, il tire argument de ce fait pour proposer une conception unitaire de la pousse florale, conception excluant la notion d'origine appendiculaire ou terminale des organes floraux internes.

Il semble donc bien que les schémas classiques d'interprétation ne puissent traduire convenablement l'organisation du gynécée de *Juglans*.

Ces divers auteurs ont été amenés à étudier également le fruit de *Juglans*. Tous admettent l'origine carpellaire de la coque ligneuse enfermant l'amande.

Nos recherches en ce domaine nous conduisent à proposer une interprétation nouvelle de l'organisation de la fleur et du fruit de *Juglans*.

Selon nous, les deux valves constituant la coque dérivent non des tissus internes des carpelles, mais d'une paire de pièces florales apparaissant au-delà des carpelles, dans le plan inter-carpellaire. Ces organes ultra-carpellaires demeurent — du fait de l'accroissement basilaire des pièces florales de cette fleur typiquement inférovariée — intimement soudés aux carpelles, donc au corps ovarien. Lors du développement de la fleur, ils se trouvent comprimés entre les carpelles et les deux lobes du parenchyme interne de remplissage se développant à l'intérieur de la cavité ovarienne, dans le plan des carpelles. Les organes destinés à devenir les valves se moulent ainsi entre la paroi du corps ovarien, qui donnera le brou, et les lobes du parenchyme de remplissage préfigurant l'amande.

Les « racines » de ces valves constituent la cloison intracotylédonaire caractéristique du fruit des Juglandacées. Ainsi la valve, y compris la portion de cloison intracotylédonaire qui la bissecte intérieurement, constituent une unité morphologique dérivant d'une pièce florale ultra-carpellaire. La coque de la noix est donc une formation intraovarienne.

Selon nous, la fleur femelle de *Juglans* est constituée par une série d'organes floraux disposés par paires symétriques, régulièrement alternées, série se poursuivant au-delà des carpelles par le développement de deux paires d'organes sans vascularisation propre, dérivant d'évaginations du parenchyme médullaire axial. La première fournit les deux valves constituant la coque; la seconde donne les deux lobes du parenchyme de remplissage dont l'existence est temporaire.

Selon notre conception, la fleur femelle de Noyer est donc à carpelles stériles et à placentation caulinaire.

Cela ne saurait toutefois condamner la théorie des carpelles sporophylles : il est possible de concilier les deux thèses en présence. Il suffit d'admettre, ce qui est en accord avec les faits, que la fleur résulte de l'épuisement progressif des méristèmes apicaux d'un bourgeon initialement banal. Cet épuisement peut se trouver réalisé dès le niveau des émergences carpellaires : ce sont alors ces appendices qui s'organisent en organes sporogènes (cas le plus général). Mais il se peut aussi qu'il ne soit pas encore suffisant

au stade des carpelles : d'où le développement d'organes ultra-carpellaires. Dans ce cas, les carpelles sont stériles et la placentation est caulinaire. Ainsi, peu importe que la placentation soit carpellaire ou caulinaire puisque ce sont les deux aspects finaux possibles d'un même fait biologique : l'épuisement d'un bourgeon se transformant en un organisme sporogène, inéluctablement voué à la mort après son intervention dans la perpétuation de l'espèce.

(1) P. Van Tieghem, *Bull. Soc. bot. Fr.*, 16, 1869, p. 412-419.
(2) M. Benson et E. J. Welsford, *Ann. Bot.*, 23, 1909, p. 623-633.
(3) C. G. Nast, *Hilgardia*, 9, 1935, p. 345-362.
(4) M. Nicoloff, *J. Bot.*, Paris, 18, 1904, p. 134-152 et 280-285; 19, 1905, p. 63-84.
(5) L. M. Langdon, *Bot. Gaz.*, 101, 1939, p. 301-327.
(6) J. F. Leroy, *Mém. Mus. Nat. Hist. nat.*, Paris, série B, 4, 1955, p. 1-246.

(*Station de Recherches et Expériences forestières, Annexe de Grenoble.*)

HISTOPHYSIOLOGIE. — *Étude histoautoradiographique des acides désoxyribonucléiques au cours de l'hypertrophie compensatrice du rein chez le Rat blanc jeune.* Note (*) de M. **Georges Franck**, présentée par M. Robert Courrier.

Sous l'influence de la néphrectomie unilatérale, le pourcentage de mitoses et de noyaux « marqués » par la thymidine tritiée est augmenté au niveau des tubes contournés du rein subissant l'hypertrophie compensatrice chez le Rat blanc jeune, par rapport aux témoins. Cependant, la fréquence des noyaux ayant incorporé la thymidine tritiée est, aussi bien chez les animaux néphrectomisés que chez les témoins, supérieure à la fréquence des mitoses. D'autre part, l'augmentation de la fréquence des noyaux marqués n'est pas proportionnelle à celle de l'activité mitotique; elle est plus faible.

L'hypertrophie compensatrice, déclenchée par la néphrectomie unilatérale, dans le rein restant du jeune rat blanc, s'accompagne d'une augmentation importante du nombre de mitoses ([1]), ([2]), principalement au niveau des tubes contournés.

Dans une Note précédente ([3]), nous avons étudié le métabolisme des acides désoxyribonucléiques (ADN) dans les noyaux des tubes contournés, en relation avec cette augmentation de l'activité mitotique. Ces recherches ont été effectuées par dosages cytophotométriques après réaction de Feulgen, sur des noyaux intercinétiques considérés isolément, chez des rats blancs frères âgés de 3 à 4 semaines. Dans ces conditions expérimentales, l'élévation de l'activité mitotique débute à la fin du 2e jour suivant l'intervention et atteint rapidement son maximum à ce moment ([3]). Cette augmentation ne semble pas influencer la teneur diploïde moyenne en ADN des noyaux intercinétiques. Par contre, on observe plus de valeurs dites « tétraploïdes » d'ADN.

Nous avons ensuite étudié au niveau des mêmes segments du néphron l'incorporation de thymidine marquée au tritium, qui est un précurseur quasi spécifique de l'ADN et qui permet une localisation cytologique précise. La thymidine tritiée (de marque Schwartz, U. S. A.) est injectée par voie sous-cutanée à raison de 15 μC par gramme d'animal, à deux groupes de rats âgés approximativement de 3 à 4 semaines. L'injection fut pratiquée simultanément chez les animaux néphrectomisés et chez leur témoin 24, 40 et 48 h après l'intervention subie par les premiers. Tous les animaux furent sacrifiés 8 h après l'injection.

Fixation des pièces au liquide de Carnoy; coupes de 6 μ d'épaisseur; technique du « stripping film »; films « Kodak AR 10 »; pose de 12 jours; coloration de fond par l'hématoxyline d'Ehrlich après développement photographique. Des index de mitoses et de noyaux marqués exprimés en pour-mille sont établis sur des préparations non consécutives et prises dans des blocs différents; de 6 à 12 000 noyaux de tubes contournés ont été examinés pour chaque cas.

Chez les animaux témoins, la présence de thymidine tritiée se décèle surtout au niveau des noyaux de la corticale, principalement dans les tubes contournés et le tissu interstitiel. La médullaire, par contre, ne contient que quelques noyaux marqués, d'autant plus rares qu'on s'approche des calices. On en remarque en nombre variable au niveau de la capsule de Bowmann et de l'épithélium du calice.

Chez les animaux néphrectomisés, la fréquence des noyaux marqués s'élève notablement. Cette augmentation s'observe principalement au niveau des tubes contournés et, quoique moins marquée, dans la médullaire, surtout dans la zone voisine de la corticale.

		Index mitotique (‰).	Index de noyaux marqués (‰).
Ier groupe.	Rein témoin	3	20
	Rein en hypertrophie (injection 24 h après néphrectomie)	3,5	37
IIe groupe.	Rein témoin	0,5	12,4
	Rein en hypertrophie (injection 40 h après néphrectomie)	6 (50 % prophases)	29
	Rein en hypertrophie (injection 48 h après néphrectomie)	5,3 (30 % prophases)	27,6

En effet, comme le montre le tableau ci-dessus, la fréquence des noyaux marqués au niveau des tubes contournés passe de 12,4 ‰ (index mitotique : 0,5 ‰) chez un animal témoin à 29 et 27,6 ‰ (index mitotiques : 6 et 5,3 ‰) chez deux de ses frères néphrectomisés et injectés respectivement 40 et 48 h après l'intervention (dans chaque cas, rappelons-le, les animaux sont sacrifiés 8 h après l'injection). Il semble même que cette augmentation du nombre de noyaux ayant incorporé la thymidine tritiée se produise déjà avant toute modification de l'activité mitotique. En effet, 32 h après l'intervention, les index mitotiques effectués sur les animaux témoins et néphrectomisés indiquent des valeurs de 3 et 3,5 alors que les index de noyaux marqués passent de 20 à 37.

La répartition de ces noyaux marqués n'est cependant pas homogène. En effet, certains tubes contournés ont un pourcentage élevé de noyaux marqués par rapport à d'autres où leur nombre est limité, voire nul. De plus, à l'intérieur de ces segments du néphron, ils se présentent soit isolément, soit le plus souvent groupés en îlots où l'on peut remarquer l'une ou l'autre figure mitotique. Ces noyaux sont en fait localisés à la fois dans tout le parenchyme rénal et dans la corticale, comme les mitoses lorsqu'elles apparaissent en grand nombre après la néphrectomie.

Si l'on diminue le temps de pose des préparations histoautoradiographiques, les caractères cytologiques des noyaux ayant incorporé la thymidine tritiée sont plus apparents. On voit alors que la majorité de ceux-ci paraissent plus volumineux que l'ensemble des autres noyaux.

Le contenu nucléaire a un aspect granuleux et dense; ces granulations, de taille variable d'un noyau à l'autre, voisinent parfois avec l'un ou l'autre filament plus ou moins long. Il semble également qu'on puisse observer parmi ces noyaux marqués, surtout lorsqu'ils sont groupés en îlots où siège l'une ou l'autre prophase, plusieurs stades morphologiques intermédiaires entre ces noyaux marqués synthétisant ou ayant synthétisé leur ADN préprophasique et la prophase constituée avec ses filaments chromosomiques. Parmi ces noyaux marqués, signalons cependant que certains ont une taille et un aspect voisins de celui des noyaux non marqués; ils sont souvent couplés deux à deux et représentent, nous semble-t-il, le produit d'une division précédente.

Les résultats de ces expériences montrent d'une part que la fréquence des noyaux ayant incorporé de la thymidine tritiée est, aussi bien chez les animaux témoins que chez les animaux néphrectomisés, supérieure à la fréquence des mitoses. A ce propos, il faut rappeler que si, parmi ces noyaux, les uns effectuent leur synthèse préprophasique d'ADN, d'autres l'ont déjà terminée et se préparent à la mitose (intervalle post-synthèse) et certains enfin correspondent à des cellules-filles issues d'une mitose précédente.

Ces observations indiquent d'autre part que l'augmentation de la fréquence des noyaux marqués n'est pas proportionnelle à celle de l'activité mitotique; elle est plus faible.

Ces faits signifient vraisemblablement, dans le matériel considéré, d'une part que la synthèse des ADN et l'intervalle post-synthèse ont une durée plus longue que celle de la mitose proprement dite; d'autre part, que cette augmentation du nombre de mitoses est le résultat non seulement d'une augmentation du nombre de noyaux synthétisant leurs ADN et se préparant à la mitose, mais aussi d'une accélération du temps de synthèse ou de celui de la post-synthèse, ou encore des deux.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) H. D. Rollason, *Anat. Rec.*, 104, 1949, p. 263-283.

(2) N. M. Sulkin, *Anat. Rec.*, 105, 1949, p. 95-107.

(3) G. Franck, *C. R. Soc. Biol.*, 152, 1958, p. 1841-1844.

(*Institut d'Histologie, Université de Liège.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Action du diisopropylphosphofluorure et du pH dans l'association et la dissociation des histones du placenta humain.* Note de M[lles] **Luisa Hirschbein** et **Rosa Rozencwajg**, présentée par M. Jacques Duclaux.

Nous avons montré, par électrophorèse ([2]), que plusieurs histones sont en équilibre et que, selon la concentration en ions H^+, elles forment des produits d'association et de dissociation sans que la protéine soit dénaturée.

Les fractions obtenues selon Phillips ([3]), après adsorption sur carboxyméthylcellulose (CMC) et élution par HCl 0,01 N et HCl 0,02 N, n'ont pas les mêmes propriétés électrophorétiques que les histones totales et le phénomène de dissociation réversible n'est pas dû à une protéolyse réversible.

Matériel et méthodes. — L'histone totale obtenue par les techniques décrites ([1]), est lyophilisée. Les fractions sont éluées avec HCl 0,01 N (fraction A) et HCl 0,02 N (fraction B), après adsorption de l'histone totale sur colonne de CMC. On dialyse et on lyophilise.

Les dosages des acides aminés et des groupes N-terminaux sont faits selon Phillips ([4]). L'histone totale et les fractions A et B contiennent respectivement 24,5, 25,7 et 22,4 % d'acides aminés basiques.

Les dosages des acides aminés N-terminaux montrent que l'histone totale et la fraction A sont riches en alanine (17 et 34 %) et en proline (45 et 30 %), tandis que la fraction B est riche en valine (37 %) et en leucine (50 %). De plus, la fraction B contient 0,7 % de lipides, tandis que la fraction A en est totalement dépourvue.

Résultats. — Les tableaux I et II montrent que la fraction A ressemble à l'histone totale, tandis que la fraction B en diffère. Le nombre de composants de la fraction B à pH 8,4 n'est que de 3 au lieu de 4 et leurs pourcentages, pour une même mobilité, sont différents.

D'autre part, le phénomène d'association ou de dissociation, qui, dans l'histone totale, a lieu sans dénaturation, ne semble pas se produire de la même façon pour les fractions. En effet, le comportement électrophorétique des fractions A et B diffère de celui de l'histone totale (tableau II).

La fraction A et l'histone totale dialysées pendant 12 h à pH 4,7, puis à pH 6,7, donnent des diagrammes d'électrophorèse identiques à pH 6,7. Mais les diagrammes diffèrent lorsque la première dialyse a été faite à pH 8,4. La fraction B, dont la composition en acides aminés et en groupes N-terminaux est différente de celles de la fraction A et de l'histone totale, ne donne pas d'association et de dissociation réversibles.

TABLEAU I.

Électrophorèse des fractions éluées sur CMC à différents pH.

pH.	Fraction A. u(cm^2.V^{-1}.s^{-1}.10^5 à + 3°C).	%.	Fraction B. u(cm^2.V^{-1}.s^{-1}.10^5 à + 3°C).	%.
4,7	11,5	93	11	91
	9,5	9,5	9	9
6,7	10,2	69	9,6	80
	9	25	8,3	14
	7,8	6	7	6
8,4	9,7	15	9,5	24
	8,8	55	7	66
	7,5	23	4,7	10
	5,8	7	–	–

TABLEAU II.

Électrophorèse après dialyses à plusieurs pH.

pH. 1re dial.	pH. 2e dial.	Fraction A. u(cm^2.V^{-1}.s^{-1}.10^5 à + 3°C).	%.	Fraction B. u(cm^2.V^{-1}.s^{-1}.10^5 à + 3°C).	%.
4,7	6,7	9,7	71	10,8	19
		8,6	23	9,1	81
		7,2	6	–	–
8,4	6,7	10,3	87	11	20
		8,7	13	9,3	80
6,7	6,7	10,2	69	9,6	80
		9	25	8,3	14
		7,8	6	7	6

Certains auteurs, admettant que la différence de complexité des histones en fonction du pH est due à une protéolyse [5], nous avons dialysé l'histone totale contre des tampons à différents pH, en présence de DFP (diisopropylphosphofluorure), inhibiteur des enzymes protéolytiques. Le tableau III montre que l'inhibiteur a une action sur l'histone totale à pH 8,4 : le nombre de composants diminue et leurs proportions changent. A pH 4,8 et 6,8, le nombre de composants reste le même en présence de DFP. Cependant, la présence de DFP n'empêche pas le phénomène d'association et de dissociation réversibles de se produire (tableau IV).

D'après ces résultats, il est possible d'admettre que plusieurs histones sont en équilibre et qu'elles se dissocient ou s'associent en fonction du pH. Seulement à pH alcalin, le nombre de composants qui apparaissent correspond soit à une dissociation accompagnée de protéolyse. Mais la réversibilité du phénomène d'association et de dissociation ne dépend pas d'une action protéolytique; elle n'est fonction que du pH [6].

TABLEAU III.

Électrophorèse de l'histone totale en présence de DFP (*).

	Sans inhibiteur.		Avec inhibiteur.	
pH.	u(cm².V⁻¹.s⁻¹.10⁵ à + 3°C).	%.	u(cm².V⁻¹.s⁻¹.10⁵ à + 3°C).	%.
4,8	11,2	100	11,7	100
6,8	10,2	69	9	65
	9,3	23	7,9	29
	7,9	8	6,8	8
8,6	10,3	16	7,1	25
	9	62	6,4	45
	7,8	16	5,3	30
	5,9	7	–	–

TABLEAU IV.

Électrophorèse de l'histone totale après dialyses à plusieurs pH en présence de DFP (*).

pH.			
1re dial.	2e dial.	u(cm².V⁻¹.s⁻¹.10⁵ à + 3°C).	%.
4,8	6,8	9,4	68
		8,5	25
		6,4	5
8,6	6,8	9,3	66
		8,3	28
		6,9	6
6,8	6,8	9	65
		7,9	29
		6,8	6

(*) La concentration finale du DFP (diiosopropylphosphofluorure) est de 1 mM dans un tampon véronal sodique à différents pH et à force ionique constante.

(1) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 517.
(2) *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 870.
(3) D. M. P. PHILLIPS et E. W. JOHNS, *Biochem. J.*, 72, 1959, p. 538.
(4) D. M. P. PHILLIPS, *Biochem. J.*, 68, 1958, p. 35.
(5) BUTLER et coll., *Biophys. Acta*, 13, 1954, p. 224.
(6) Les électrophorèses ont été effectuées au Centre d'Électrophorèse du C. N. R. S.

(*Laboratoire de Biochimie des Nucléoprotéides, E. P. H. E.,*
13, *rue Pierre-Curie, Paris,* 5e.)

PHARMACOLOGIE. — *Étude expérimentale de l'abaissement de la vigilance par la γ-butyrolactone.* Note de MM. **Philippe Benda** et **Roland Perlès**, présentée par M. Robert Courrier.

L'injection chez l'animal de γ-butyrolactone entraîne un abaissement de la vigilance allant jusqu'à la suppression des réflexes de posture et l'apparition d'un sommeil de type singulier : facilité et fugacité de l'éveil lors de certains stimulus. Ce produit agit chez le Pigeon plus rapidement et plus profondément que le sel de sodium de l'acide-alcool correspondant. Applications cliniques en cours d'étude.

Jouany, Gérard et Laborit ([1]) ont récemment rapporté l'action hypnogène du sel de sodium de l'acide hydroxy-4 butyrique (HB). Les premières applications cliniques, notamment en anesthésiologie, ont été exposées peu après par Laborit et coll. ([2]).

Le HB est une substance instable dont la lactonisation spontanée en γ-butyrolactone (BL) est particulièrement aisée. C'est pourquoi nous avons recherché si la BL est douée des mêmes propriétés hypnogènes que le HB.

Nous avons pu mettre en évidence de tels effets chez l'animal et comparer l'action de dérivés de structure apparentée à la BL.

Contrastant avec l'abondance de la littérature chimique ayant trait à la BL, il n'existe que peu de travaux d'ordre physiologique. La BL est peu toxique chez le Rat (DL_{50} : 800 mg/kg). Cosmides et coll. ([3]) ont étudié l'action protectrice de la BL vis-à-vis de la toxicité de la digitoxine.

Nous avons utilisé la BL sous forme de solution à 10 % en poids dans le soluté isotonique de chlorure de sodium.

Action sur la vigilance. — Chez le Rat, après injection intrapéritonéale de 350 à 700 mg/kg, on note vers la 10e minute qui suit l'injection l'apparition d'un sommeil se prolongeant pendant quelques heures, avec perte d'un réflexe de posture comme le réflexe de redressement.

Dans les cas typiques, il est possible de tirer immédiatement l'animal de ce sommeil par un stimulus énergique; mais le rat se rendort dans les secondes qui suivent la cessation de l'incitation.

Chez le Pigeon, l'injection intramusculaire de 300 à 600 mg/kg est suivie d'effets particulièrement rapides.

En 1 à 3 mn, l'animal s'affaisse et l'on est frappé par la disparition de tout tonus musculaire, dont témoigne la chute de la tête et du cou. Cet état dure 1 à 2 h.

Chez le Lapin, la dose active nous paraît voisine de 500 mg/kg injectés par voie intraveineuse. L'effet n'est pas immédiat mais apparaît après quelques minutes.

Action comparée de la BL et du HB. — Nous avons utilisé le sel de sodium de HB et compte tenu du rapport des poids moléculaires voisin de 1,5,

nous avons injecté chez le *Pigeon* des doses de HB comprises entre 500 et 1200 mg/kg.

Les différences dans les effets des deux substances portent sur le temps d'apparition du trouble de la vigilance et sur sa profondeur.

Le sommeil n'apparaît jamais avant la 10e minute qui suit l'injection du sel de HB, alors qu'il apparaît toujours avant la fin de la 3e minute après injection de BL. Ce délai d'apparition peut d'ailleurs atteindre 30 mn en cas d'injection de HB.

Pendant le sommeil dû à HB, il persiste un certain degré de tonus musculaire et le pigeon est encore capable de réagir aux stimulus externes, ce qui contraste avec le trouble profond de la vigilance observé sous BL.

Chez le Rat, la différence entre les effets des deux produits ne paraît pas sensible, lorsqu'on injecte de 500 à 1000 mg/kg de HB.

Action de la γ-valérolactone et de l'alcool tétrahydrofurfurylique. — Nous avons utilisé ces deux composés à des doses comparables à celles employées dans l'expérimentation avec la BL.

Dans ces conditions tout au moins, il n'a pas été observé de modifications de la vigilance, tant chez le Rat que chez le Pigeon.

Discussion. — On a donc noté une incontestable similitude d'effet sur la vigilance entre la BL et le HB. Il est certain que *in vitro* il s'établit en milieu aqueux un équilibre dans lequel prédomine la forme lactone beaucoup plus stable; mais il est difficile de prévoir le sort *in vivo* des deux composés, compte tenu des interactions ioniques et enzymatiques au sein du milieu intérieur. Nous pouvons souligner en tous cas la rapidité de l'effet de la BL chez le Pigeon, laissant supposer, chez cette espèce tout au moins, soit une action directe soit une conversion très rapide.

Reste à discuter comme pour toute drogue hypnotique le mode d'action et le point d'impact neurophysiologique de la BL. S'agit-il d'une action plus ou moins préférentielle sur la formation réticulaire ? Ne peut-on également envisager que la BL provoque un appauvrissement des afférences, réalisant des conditions proches de « l'isolement sensoriel » qu'on a pu évoquer à propos des effets de certains drogues onirogènes ? (4).

En tous cas, des essais en cours ont déjà confirmé que l'administration de BL chez l'Homme est suivie de modifications de la vigilance tant sur le plan clinique que du point de vue électroencéphalographique.

(1) J. JOUANY, J. GÉRARD et H. LABORIT, *C. R. Soc. Biol.*, séance du 25 juin 1960.
(2) H. LABORIT, J. JOUANY, J. GÉRARD et FABIANI, Abst. p. 37, 2e *Réun. Coll. Intern. Psychopharmacol.*, Bâle, juillet 1960.
(3) G. COSMIDES, T. MIYA et J. CARR, *J. Pharmac. Exp. Ther.*, 118, 1956, p. 286.
(4) PH. BENDA et F. ORSINI, *Ann. Méd. Psychol.*, 117, II, 1959, p. 525.

(*Laboratoire Central, Établissement National de Saint-Maurice, Seine.*)

PHARMACOLOGIE. — *Mise en évidence d'un caractère ordinairement méconnu de l'activité sympathicolytique.* Note de M. **Raymond-Hamet**, présentée par M. René Souèges.

Nous avons pu constater que si, à un chien qui, soumis à une dose appropriée d'un sympathicolytique du groupe de la yohimbine, réagit par de l'hypotention à une dose normalement moyennement hypertensive d'adrénaline, on injecte successivement des doses progressivement croissantes de cette dernière, on obtient, avec les premières, des hypotensions de plus en plus marquées, avec les suivantes, des hypotensions de moins en moins fortes, enfin, avec les plus élevées, des hypertensions de plus en plus hautes suivies habituellement d'hypotensions. La moins élevée de ces doses hypertensives n'est d'ordinaire — même chez le chien soumis à l'action d'une doses très élevée du sympathicolytique yohimbinique — que 30 fois supérieure tout au plus à la plus faible des doses hypotensives.

Il en va différemment avec les alcaloïdes sympathicolytiques du groupe de l'ergot et plus particulièrement avec leurs dérivés dihydrogénés tenus pour plus actifs que les bases dont ils dérivent. C'est ainsi que les plus faibles doses actives de dihydro-ergotamine augmentent et prolongent l'action hypertensive de l'adrénaline en même temps qu'elles suppriment presque totalement l'hypertension provoquée par l'occlusion carotidienne, cependant que les doses moyennes de cette substance inversent les effets hypertenseurs d'une très longue suite d'injections de doses croissantes d'adrénaline, qui sont alors suivies d'hypotensions d'autant plus marquées que la dose d'adrénaline est plus élevée, les plus fortes seulement provoquant, la première, une hypertension diminuée par rapport à celle qui la précède, la seconde, une faible hypotension suivie d'une légère hypertension, enfin, la troisième, une hypertension pure qui est peu haute mais assez prolongée. La dose minimale qui s'est ainsi montrée purement hypertensive n'est pas moins de 2 000 fois plus forte que la dose minimale qui a cessé de l'être.

Pour apprécier l'activité tant physiologique que thérapeutique d'un sympathicolytique, on doit donc tenir compte non seulement de la dose minimale moyenne qu'il faut en injecter pour inverser l'action hypertensive d'une dose moyenne d'adrénaline ainsi que de la durée de cette action, mais encore de la quantité maximale d'adrénaline qu'une telle dose est capable d'inverser.

(1) Il convient de faire observer que la dose qui initialement produisait une hypertension moyenne n'est pas inversée au sens précis que nous avons attribué à ce mot puisque, dans les modifications tensives qu'elle provoque, l'aire d'hypotension ne l'emporte pas sur l'aire de faible hypertension initiale.

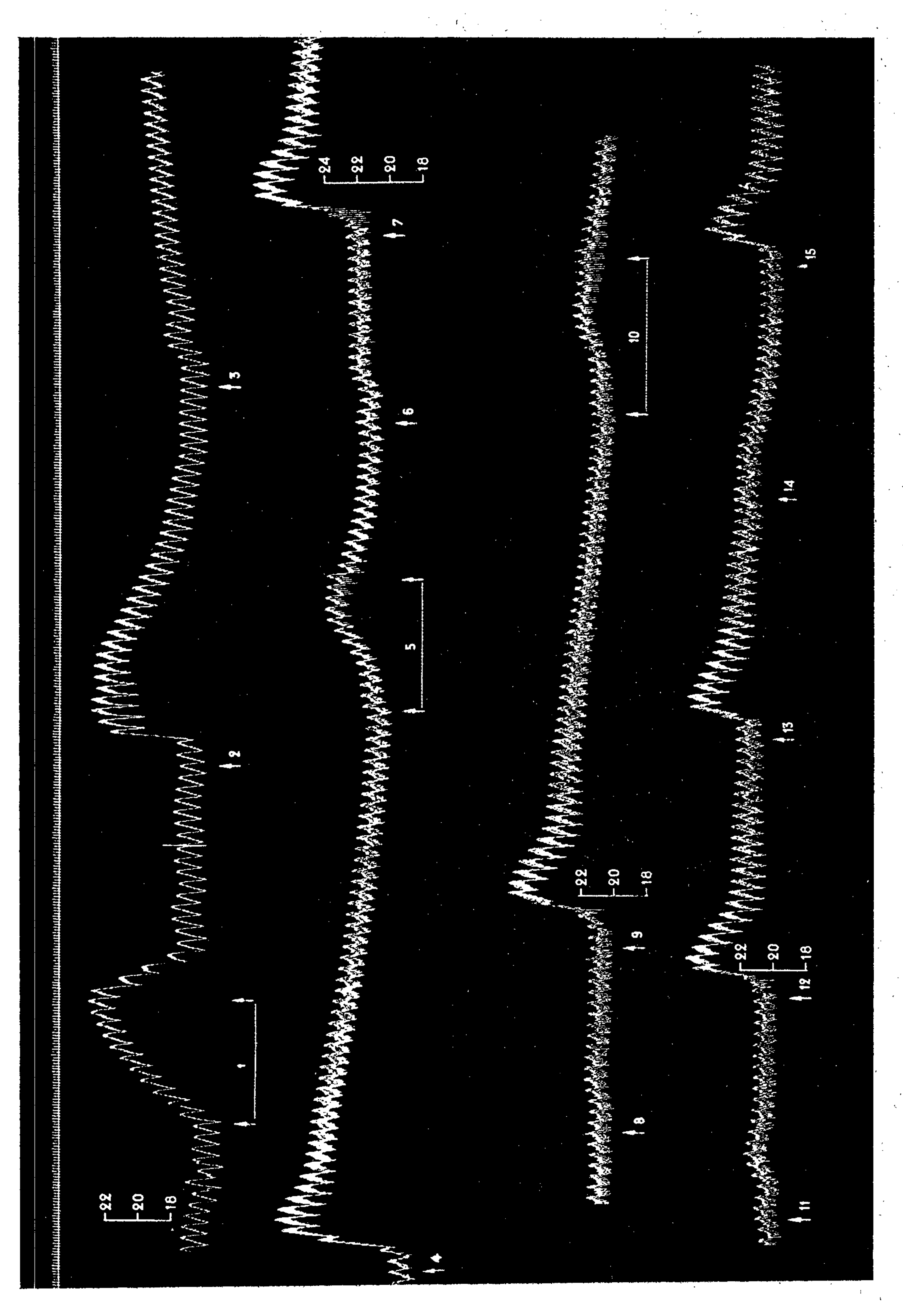


Fig. 1. — Chien de 10 kg, anesthésié par le chloralose (12 cg/kg), bivagotomisé au cou et soumis à la respiration artificielle. 1re ligne : temps en secondes ; 2e, 3e, 4e et 5e lignes : tensiogramme carotidien. On a injecté dans la saphène, en 2, 4, 7, 9, 12, 13 et 15, 0,009 mg de bitartrate d'adrénaline pure de Hochst; en 3, 0,20 mg; en 6, 0,5 mg; en 8, 1 mg; en 11, 2 mg; en 14, 5 mg de méthanesulfonate de dihydro-ergotamine mis à notre disposition par Stoll. En 1, 5 et 10, on a pratiqué l'occlusion de la carotide droite. Tracés réduits de 1000 à 400.

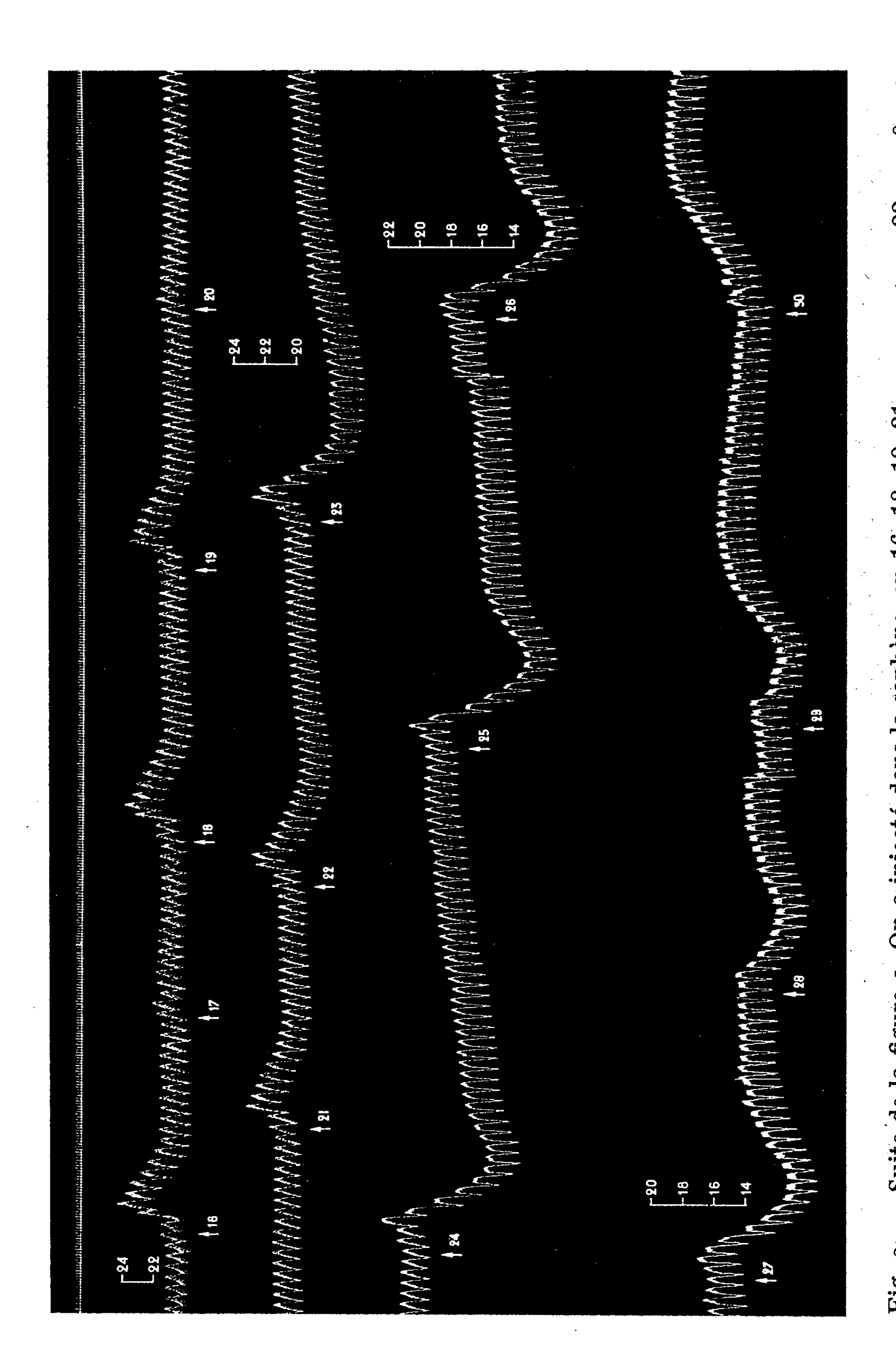


Fig. 2. — Suite de la figure 1. On a injecté dans la saphène, en 16, 18, 19, 21, 0,009 mg; en 22, 0,018 mg; en 23, 0,05 mg; en 24, 0,20 mg; en 25, 0,50 mg; en 26, 1 mg; en 27, 2 mg; en 28, 5 mg; en 29, 10 mg; en 30, 20 mg de bitartrate d'adrénaline pure de Hochst; en 17, 5 mg; en 20, 10 mg de méthane-sulfonate de dihydroergotamine de Stoll. Tracés réduits de 1000 à 400.

La séance est levée à 15 h 30 m.

L. B.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 3 OCTOBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

M. le **Président** annonce à l'Académie que la prochaine séance annuelle des prix aura lieu le samedi 10 décembre 1960, à l'École du Louvre, et non le mardi 13 décembre en la salle des États du Musée, comme il avait été annoncé le 18 juillet.

M. **Maurice Roy**, s'exprime en ces termes :

Le Xe Congrès international de Mécanique appliquée, le premier datant de 1922 et la périodicité étant de quatre ans, s'est tenu du 31 août au 7 septembre 1960 à Stresa (Italie). Il a réuni 1100 participants représentant une quarantaine de nations, et a comporté 200 conférences ou communications, à peu près également réparties, suivant la seule et simple classification adoptée, entre la Mécanique des solides et la Mécanique des fluides.

Les branches les plus modernes de la Mécanique ont donné lieu à d'intéressantes contributions scientifiques, et ce Congrès s'est déroulé avec un vif succès.

La France y a participé par 18 communications et par une nombreuse délégation présidée par le Président même de notre Assemblée, M. Georges Barrillon, et comprenant notamment nos Confrères MM. Joseph Pérès, Georges Darrieus, Kampé de Fériet et René Thiry ainsi que l'auteur de ce compte rendu.

Le Comité international des Congrès a confirmé et accentué, pour le prochain Congrès qui se tiendra à Munich (Allemagne) en 1964, les principes de limitation et de sélection des communications qui ont été introduits cette année. La préparation du Congrès de 1964 appellera, en conséquence, une participation des Comités nationaux encore plus marquée et efficiente pour susciter et pour choisir, sur le plan de chaque nation, les contributions et les auteurs proposés au Comité international.

A l'occasion du Congrès, l'Union internationale de Mécanique théorique et appliquée a tenu son Assemblée générale biennale le 1er septembre à Stresa. Elle a décidé ou confirmé l'organisation, en 1961, d'un Symposium I.U.T.A.M., en France et en collaboration avec I.U.G.G., sur les problèmes fondamentaux de la turbulence en relation avec la Géophysique,

ainsi qu'un autre symposium, éventuellement tenu en U. R. S. S., sur les vibrations non linéaires, puis projeté l'organisation, en 1962, de trois autres symposiums. La nécessité de développer l'effort de l'Union sur le plan de ces colloques internationaux a fait décider un relèvement des cotisations dont l'Académie doit être informée dès maintenant et qui équivaudra à leur doublement environ à partir de 1961.

Enfin, l'Union internationale a renouvelé son Bureau. Le Professeur G. Temple a été élu Président pour 1960-1964, et j'ai été moi-même réélu au poste de Secrétaire général pour la même période.

NOTICES NÉCROLOGIQUES

Notice nécrologique sur CHARLES LAUBRY (1872-1960), par M. **LÉON BINET**.

MES CHERS CONFRÈRES,

Depuis 1945, date de son entrée à l'Académie des Sciences, on pouvait régulièrement le lundi, quelques minutes avant 15 h, voir arriver **CHARLES LAUBRY**. Il frappait tout de suite par la douceur de son regard et l'amabilité de son accueil; puis il s'en allait vers son fauteuil à la droite de l'estrade, s'asseyant aux côtés de ses amis Georges Guillain et Louis Bazy... et là il s'entretenait avec ceux de ses confrères qui venaient lui demander un conseil médical. Hélas ! notre éminent ami s'est éteint ce mois d'août, dans un petit village de l'Yonne qu'il affectionnait, à Flogny, entouré et de sa famille et de ses élèves préférés : il était âgé de 88 ans. Celui qui était une des figures les plus marquantes du monde médical contemporain laisse une œuvre très considérable et singulièrement originale.

Peut-être pourrait-on en une phrase résumer la vie de Ch. Laubry : il fut un grand, un très grand cardiologue, amoureux surtout de la méthode clinique. L'un des traits les plus caractéristiques peut-être de son admirable enseignement, c'était de considérer le cœur, non comme un organe isolé, mais comme le centre convergent, le plus sensible, le plus frémissant de la personne humaine.

Doté d'une acuité sensorielle hors pair, et qu'il éduquait constamment, Ch. Laubry se livrait tout d'abord à la plus pénétrante analyse des symptômes. Rien ne lui échappait.

C'est alors seulement que, sur les bases bien assurées d'une sémiologie aussi scrupuleuse qu'intransigeante, l'esprit vigoureux et synthétique du

clinicien, situant le cœur malade dans le contexte humain, dressait ses inoubliables fresques cliniques, aussi exactes dans les proportions, que riches des plus fécondes perspectives.

Ainsi, ses recherches se poursuivirent-elles surtout au lit du malade. Certes il eut largement recours à l'exploration radiologique, à l'électrocardiographie, à la phonocardiographie; certes il sut lui-même mettre au point un appareil nouveau destiné à mesurer la pression artérielle (et l'on sait la collaboration qu'il prêta dans ce domaine à son maître Vaquez); mais c'est l'examen des troubles fonctionnels, la recherche de leur génèse, la mise en évidence de la sensibilité, de la neurotonie du patient, qui ont retenu l'attention de Ch. Laubry et c'est grâce à ces investigations qu'il a pu ainsi effectuer une ample et profitable moisson.

Pour lui, et grâce à lui, les rythmes dits de galop traduisent une déficience du myocarde, une hypotonie des ventricules.

Pour lui, les souffles faibles et discrets traduisent une insuffisance du muscle ventriculaire.

Pour lui, l'examen radiologique du cœur est capital, mais il faut, quant à lui, pour faire une œuvre utile, posséder une notion très précise, très rigoureuse de la topographie du cœur et bien savoir que des ombres entourant la silhouette cardiaque sont effectivement le signe d'une perturbation circulatoire.

Les insuffisances fonctionnelles le retiennent longuement et il formule sa conception de la myocardie, due à un trouble interne de la nutrition du muscle cardiaque, trouble qu'il est possible de traiter favorablement quand on en fait le diagnostic.

Véritable innovation dans la pathologie circulatoire, Ch. Laubry consacra un gros traité aux affections congénitales du cœur. Ainsi fut ouverte une voie jusqu'alors inexplorée. Elle devait conduire aux prodigieuses conquêtes de la chirurgie cardiaque dans le traitement de malformations, naguère abandonnées sans remède, à la plus cruelle des désespérances.

Si d'autres cardiologues avaient attribué à l'aortite le syndrome de l'angine de poitrine, Laubry démontre le rôle prépondérant des vaisseaux coronaires et l'on sait le plein accord fait aujourd'hui sur cette théorie; de là, notre confrère passe à l'exploration et à l'explication de l'hypertension et de l'hypotension artérielles.

Un esprit aussi curieux que celui de Laubry se devait d'étudier la circulation dite de retour, c'est-à-dire la circulation veineuse et la circulation pulmonaire qui n'est petite que de nom et dont ses élèves font une étude très poussée et devenue classique.

Par ailleurs soulignons ses travaux sur le cœur sénile et ses recherches consacrées aux crises urinaires ou hématiques, au cours des pyrexies, travaillant dans ce domaine avec Ch. Achard; ne se plaisait-il pas à reven-

diquer l'honneur de se présenter au nombre des ouvriers que notre maître commun avait su choisir ? Son admiration et son attachement pour Achard n'ont jamais connu de fissure.

Élève de Potain, de Vaquez, fondateur de la Société française de Cardiologie, directeur des Archives des maladies du cœur et des vaisseaux, premier titulaire de la chaire de clinique cardiologique de notre Faculté, ancien président de notre Académie nationale de Médecine, Grand Officier de la Légion d'honneur, Charles Laubry laissera dans notre mémoire et dans notre cœur le souvenir d'un très grand médecin de chez nous : généreux, vibrant, amoureux de la médecine, de la clinique, de l'homme et de ses maladies, s'intéressant à toutes les techniques quelles qu'elles soient, aimant profondément ses élèves dont il fut le grand Patron, à la tête d'un grand service, enfin consultant renommé et recherché. Charles Laubry était d'une culture sans limite, s'intéressant aux arts, passionné de littérature et de musique; il gardait aussi fidèlement le goût du terroir et de sa Bourgogne natale où, plusieurs fois par an, il allait reprendre contact avec le décor de sa jeunesse et avec ses amis de là-bas. Son prestige à l'étranger était immense, et, l'élaboration de toute grande carrière cardiologique ne se concevait pas alors, sans un stage de longue durée, auprès de l'illustre cardiologue français. Par un juste retour, il suscita chez ses élèves étrangers, devenus d'éminents chefs d'écoles, une telle reconnaissance affectueuse, qu'il fut élu, après la guerre, Président du premier Congrès mondial de Cardiologie. Parmi ses électeurs les plus déterminés, figuraient son fidèle admirateur et ami, Paul White, le célèbre cardiologue du Président des États-Unis, et son grand élève, Ignacio Chavez, fondateur du remarquable Institut de Mexico (lequel s'honore d'exposer le portrait de Ch. Laubry à la vénération de ses innombrables visiteurs). Ainsi, c'est grâce à l'attrait puissant de la personnalité de notre regretté confrère, que notre Paris d'après-guerre, renfloué dans sa gloire, eut la satisfaction d'accueillir, avec sa noblesse séculaire, l'Élite cardiologique du Monde.

Messieurs, si la Cardiologie en France connaît aujourd'hui un solide et magnifique essor — médical et chirurgical — c'est surtout à Charles Laubry que nous le devons, lui qui a su mettre en honneur la Cardiologie française, dans sa sémiologie et dans sa thérapeutique, cette passionnante science cardiologique, qu'il a aimée avec enthousiasme et servie avec toute la générosité de sa grande âme.

PRÉSENTATION DE SAVANTS ÉTRANGERS.

M. **Louis de Broglie** signale la présence de M. **Yoshio Ueno**, Professeur de Physique théorique à l'Université de Hiroshima, Japon. M. le Président souhaite la bienvenue à celui-ci et l'invite à prendre part à la séance.

CORRESPONDANCE,
OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Commissariat à l'énergie atomique. *Mesures de la production des mésons* K^+ *par des protons dans les noyaux*, par Jacques Teiger (Thèse, Caen).

2° Academia Republicii populare romîne. *V. Babes Opera alese.* Vol. III.

3° id. I. Enescu. *Insuficienta cardiacă.*

4° id. *Darvinismul și problema evoluției în biologie. Din materialele consfătuirilor din cadrul Academiei R. P. R.*

5° id. Institut de géologie, géophysique et géographie. *Recueil d'études géographiques concernant le territoire de la République populaire roumaine.*

6° id. Societatea științelor medicale. *Conferința națională de fiziologie. Julie* 1960. *Rezumatele comunicărilor.*

7° Czechoslovak Academy of sciences. Mathematico-physical Section. *International geophysical Year and cooperation in Czechoslovakia* 1957-1959.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

CANCÉROLOGIE. — *Faible réduction du pouvoir cancérogène par hydrogénation de la molécule d'hydrocarbures; forte réduction dans le cas des benzacridines.* Note de MM. **Antoine Lacassagne**, **Nguyen P. Buu-Hoï**, **François Zajdela** et **Pierre Jacquignon**.

Dans d'anciennes expériences variées, nous avions recherché la possibilité d'un antagonisme de compétition entre différentes substances cancérogènes, chimiquement très voisines. Dans certains cas, la constatation d'un retard dans la production de tumeurs était en faveur d'une protection exercée par les moins actives des molécules; on admit que leur fixation dans les cellules empêchait celle d'un même nombre de molécules plus actives (1), (2), (3).

5.10-dihydro-3.4 : 8.9-dibenzopyrène.

5.8-dihydro-3.4 : 9.10-dibenzopyrène.

1'.2'.3'.4'-tétrahydro-3.4-benzopyrène.

N

CH_3

1'.2'.3'.4' tétrahydro-10-méthyl-
1.2 5.6-dibenzacridine.

N

CH_3

1'.2'.3'.4'-tétrahydro-10-méthyl-
1.2 : 7.8-dibenzacridine.

Kotin et alias (4) ont réalisé des expériences analogues, en utilisant la notion ancienne que les dérivés partiellement hydrogénés d'hydrocarbures polycycliques sont moins cancérogènes que les molécules mères correspon-

dantes. L'injection simultanée d'homologues hydrogénés, soit du 20-méthylcholanthrène (6.7-dihydro- ou 1.2.3.4.11.14-hexa-, ou perhydro-méthylcholanthrène), soit du 1.2.5.6-dibenzanthracène (dihydro-, ou décahydro-, ou perhydro-benzanthracène) a réduit l'efficacité du cancérogène dans le cas des dérivés partiellement hydrogénés, alors que les totalement hydrogénés n'exerçaient pas d'antagonisme.

En prévision d'expériences ultérieures, nous avons été amenés à synthétiser différents dérivés hydrogénés du 3.4-benzopyrène, de dibenzopyrènes et de benzacridines angulaires. Les cinq corps ci-dessus ont été étudiés.

Les trois premiers sont des hydrocarbures, les deux derniers dérivent respectivement de la 10-méthyl-1.2 : 5.6-dibenzacridine et de la 10-méthyl-1.2 : 7.8-dibenzacridine. Comme nous n'avions pas encore publié les résultats obtenus avec ces deux composés, nous profitons de l'occasion pour le faire.

Le pouvoir cancérogène de ces sept corps a été établi d'après leur aptitude à donner des sarcomes par injections sous-cutanées : trois injections à un mois d'intervalle, de 0,6 mg dans 2 ml d'huile d'olive neutralisée et stérilisée (sauf dans l'expérience avec la 10-méthyl-1.2 : 5.6-dibenzacridine, dont les animaux n'ont reçu que deux injections). Toutes les souris appartenaient à la lignée XVIInc/Z de l'Institut du Radium. Les résultats sont fournis dans le tableau.

Substances.	Nombre d'animaux.		Date d'apparition du premier sarcome (jours).	Survivants ultérieurs.	Nombre des sarcomes.	Latence moyenne (jours).	Index selon Ibal.	Index général de cancérogénèse.
1'.2'.3'.4'-tétrahydro-3.4-benzopyrène	38	23 ♂	150	6	5	190	43	39
		15 ♀	180	11	4	185	39	
5.10-dihydro-3.4 : 8.9-dibenzopyrène	32	24 ♂	97	7	6	104	96	92
		8 ♀	91	7	7	114	88	
5.8-dihydro-3.4 : 9.10-dibenzopyrène	14	7 ♂	95	7	7	124	80	81
		7 ♀	83	7	6	104	82	
10-méthyl-1.2 : 5.6-dibenzacridine	21	7 ♂	169	5	4	241	33	33
		14 ♀	225	6	4	238	33	
10-méthyl-1.2-tétrahydro-1.2 : 5.6-benzacridine	66	51 ♂	196	22	3	356	4	4
		15 ♀	–	9	0	–	–	
10-méthyl-1.2 : 7.8-dibenzacridine	22	7 ♂	150	7	6	188	45	39
		15 ♀	130	15	8	154	34	
10-méthyl-1.2-tétrahydro-1.2 : 7.8-benzacridine	95	60 ♂	154	24	4	260	6	6,5
		35 ♀	165	18	4	285	7	

A l'examen de ces résultats, il apparaît :

1° en ce qui concerne le *dérivé tétrahydrogéné du 3.4-benzopyrène*, que contrairement aux observations d'auteurs antérieurs qui lui avaient attribué

un pouvoir cancérogène nul [5] ou très faible [6], ce corps présente une activité incontestable, bien que nettement inférieure à celle du 3.4-benzopyrène lui-même, utilisé dans les mêmes conditions [7];

2° en ce qui concerne les *deux dérivés hydrogénés des dibenzopyrènes* [8] que ces subtances sont douées d'une activité sarcomogène puissante, approchant celle du 3.4 : 9.10-dibenzopyrène [9] et du 3.4 : 8.9-dibenzopyrène [10];

3° en ce qui concerne les *deux dérivés hydrogénés des benzacridines*, contrairement à ce qui vient d'être signalé, ils sont beaucoup moins cancérogènes que les molécules mères correspondantes, malgré leur toxicité particulièrement élevée. Cette constatation confirme des résultats du même ordre, antérieurement obtenus avec quatre autres dérivés hydrogénés de benzacridines [11].

Discussion. — Peut-être faut-il attribuer cette différence de comportement, constatée entre des hydrocarbures hydrogénés et des hétérocycles azotés hydrogénés, à une déshydrogénation enzymatique *in vivo*, plus facile dans le cas des hydrocarbures. On sait, en effet, que l'organisme est capable de déshydrogéner des molécules cycliques hydrogénées, dans le cas d'hormones sexuelles non aromatiques et dans celui de l'acide hexahydrobenzoïque [12]. La différence constatée entre les hydrocarbures et les dibenzacridines hydrogénés coïncide avec le fait que les molécules du premier type sont moins étrangères à l'organisme que celles du deuxième type.

(1) A. Lacassagne, N. P. Buu-Hoï et P. Cagniant, *C. R. Soc. Biol.*, 136, 1944, p. 16.

(2) A. Lacassagne, N. P. Buu-Hoï et G. Rudali, *Brit. J. exp. Pathol.*, 26, 1945, p. 5.

(3) A. Lacassagne, *Exposés ann. Bioch. med.*, 8, 1948, p. 83.

(4) P. Kotin, H. L. Falk, W. Lijinsky et L. Zechtmlister, *Science*, 123, 1956, p. 102.

(5) O. Schürch et A. Winterstein, *Z. physiol. Chim.*, 236, 1935, p. 79.

(6) M. J. Shear et A. Perrault, *Amer. J. Cancer*, 36, 1939, p. 211.

(7) A. Lacassagne, F. Zajdela et N. P. Buu-Hoï, *C. R. Soc. Biol.*, 152, 1958, p. 1312.

(8) Synthétisés dans notre laboratoire de Chimie par N. P. Buu-Hoï et D. Lavit, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1364.

(9) A. Lacassagne, F. Zajdela, N. P. Buu-Hoï et H. Chalvet, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 273.

(10) A. Lacassagne, N. P. Buu-Hoï et F. Zajdela, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1477.

(11) A. Lacassagne, N. P. Buu-Hoï, R. Daudel et F. Zajdela, *Advances in cancer Res.*, 4, 1956, p. 315.

(12) C. Mitoma, H. S. Posner et F. Léonard, *Biochim. et Biophys. Acta*, 27, 1958, p. 156.

CHIMIE ORGANIQUE. — *La réaction de Reformatsky sur l'acétyl-1 cyclohexène.* Note (*) de M. **Max Mousseron**, Mme **Magdeleine Mousseron-Canet** et M. **Joseph Neyrolles**.

Le complexe d'addition — produit carbonylé, dérivé énol bromozincique de l'ester — est l'intermédiaire de la réaction de Reformatsky [1], [2]; il possède des exigences stériques, le produit carbonylé devant attaquer l'énol du côté le moins substitué.

Un examen des modèles permettra la construction des complexes cycliques privilégiés qui donneront naissance à des esters-alcools déterminés stériquement. Dans le cas de l'introduction d'un carbone asymétrique il sera possible de faire le choix entre les deux hydroxy-esters prévisibles.

Les résultats de la déshydratation coïncident avec la stéréochimie des esters-alcools déduite du complexe d'addition initial. Bien que la déshydratation par SO_4KH procède sans doute par un mécanisme par ion carbonium il se peut qu'un reste stérique dirige le cours de la déshydratation.

Des données spectrographiques ont établi que dans l'acétyl-1 cyclohexène [3], la conjugaison du carbonyle avec la double liaison était du type *s*-trans [4].

a. Cas du bromacétate d'éthyle. — L'ester-alcool $É_{0,1}$ 105°, n_D^{20} 1,4752, $C_{12}H_{20}O_3$ (calculé %, C 67,89; H 9,50; trouvé %, C 68,02; H 9,60) est déshydraté soit par chauffage 2 h à 130° sur SO_4KH, soit par distillation sur un cristal d'iode.

L'ester éthylénique est rectifié $É_{0,1}$ 100°; $C_{12}H_{18}O_2$ (calculé %, C 74,19; H 9,34; trouvé %, 73,87; H 9,08).

Le spectre infrarouge présente à la fois une bande C = O d'un ester saturé à 5,75 μ et d'un ester éthylénique à 5,82 μ ainsi que les bandes C = C à 6,19 μ. Le spectre ultraviolet possède un λ_{max} 249 mμ, ε 10 900 correspondant au système diénique conjugué avec ester non conjugué et un λ_{max} 270 mμ, ε 7 200 dû à l'ester entièrement conjugué. Des valeurs de ε on peut déduire la proportion de 1/3 d'ester non saturé et 2/3 d'ester saturé [5].

Ce mélange d'esters est saponifié; la cristallisation fractionnée permet de retirer deux acides : l'un F 124°; $C_{10}H_{14}O_2$ (calculé %, C 72,26; H 8,49; trouvé %, C 72,08; H 8,32), λ_{max} 266 mμ, ε 18 500 acide conjugué C = O à 5,92 μ; C = C à 6,22 μ d'égale intensité.

Le deuxième acide est liquide $É_{0,3}$ 110°; $C_{10}H_{14}O_2$ (calculé %, C 72,27; H 8,49; trouvé %, C 72,09; H 8,34), λ_{max} 245 mμ, ε 10 100 acide saturé à 5,87 μ ; C = C faible à 6,22 μ; CH = CH cis à 14,35 μ.

Ce dernier acide est lactonisé aisément par $H—CO_2H$ en un mélange de γ et δ-lactones à carbonyle non conjugué, $C_{10}H_{14}O_2$ (calculé %, C 72,26;

H 8,49; trouvé %, C 72,12; H 8,34). γ-lactone à 5,60 μ, δ-lactone à 5,77 μ. La chromatographie sur alumine neutre permet de scinder ces deux lactones qui se présentent dans la proportion de 65 % de δ et 35 % de γ.

L'acide conjugué F 124° traité par H—CO_2H donne 10 % de lactones α, β-éthyléniques; $C_{10}H_{14}O_2$ (calculé %, C 72,26; H 8,49; trouvé %, C 72,09; H 8,38), λ_{max} 216 mμ, ε 11 800, γ-lactone saturée 5,64 μ; δ-lactone insaturée 5,74 μ. Les 90 % de l'acide sont impossibles à lactoniser et doivent posséder la structure trans.

La construction des modèles montre que le complexe d'addition intermédiaire peut conduire à un alcool-ester dont la déshydratation se fait principalement suivant un processus de transposition allylique se formant peut-être également à partir des mêmes formes de libre rotation qui conduisent aux acides conjugués cis et trans.

b. Cas de l'α-bromopropionate d'éthyle. — L'ester-alcool $É_{0,5}$ 110°; $C_{13}H_{22}O_3$ (calculé %, C 68,99; H 9,80; trouvé %, C 68,86; H 9,71) est déshydraté par chauffage avec SO_4KH. Le produit de déshydratation est constitué par un mélange de 1/3 de lactone α, β-éthylénique 5,68 μ, λ_{max} 219 mμ, ε 4 600 et de 2/3 d'ester diénique à carbonyle non conjugué, 5,78 μ, λ_{max} 246 mμ, ε 11 000. Ce mélange est scindé par saponification, la lactone F 74° étant retrouvée inchangée; $C_{11}H_{16}O_2$ (calculé %, C 73,30; H 8,95; trouvé %, C 73,18; H 8,99), λ_{max} 218 mμ, ε 13 800 pour une lactone α, β-éthylénique 5,68 μ).

L'acide $C_{11}H_{16}O_2$ (calculé %, C 73,30; H 8,95; trouvé %, C 73,14; H 8,97) présente les caractéristiques d'un diène conjugué à fonction acide saturé, correspondant ainsi à une forme rétro formée au cours d'un processus de transposition allylique λ_{max} 246 mμ, ε 11 200. Par traitement à l'acide formique cet acide est lactonisé en un mélange de γ et δ-lactones à carbonyle non conjugué. Ces deux lactones, qui se forment dans des proportions équivalentes, pouvant être scindées par chromatographie sur alumine neutre : γ-lactone F 65°, 5,63 μ; δ-lactone 5,80 μ. La forme

énolique de l'ester bromozincique doit encore être prise en considération; les exigences de l'acétyl-1 cyclohexène lui-même et son addition du côté le moins substitué de l'énol-zincique de l'α-bromopropionate d'éthyle, entraîne la formation d'un complexe d'addition privilégié.

Le fait que les produits α, β-éthyléniques sont de structure cis, contribue à éliminer la structure opposée du complexe d'addition. La formation des composés à carbonyle non conjugué λ_{max} 240 mμ s'explique comme précédemment par une compétition de la déshydratation allylique avec le processus de trans-élimination ou par l'existence d'isomères de rotation où seule l'élimination allylique est possible.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) ZIMMEMANN et TRASELER, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 1920.

(2) MELVIN et NEWMAN, *J. Amer. Chem. Soc.*, 64, 1942, p. 2131.

(3) EARL ROYALS et HENDRY, *J. Org. Chem.*, 15, 1950, p. 1147.

(4) BRAUDE, JONES, SONDHEIMER et TOOGOOD, *J. Chem. Soc.*, 1949, p. 607.

(5) BRAUDE, JONES, KOCH, RICHARDSON, SONDHEIMER et TOOGOOD, *J. Chem. Soc.*, 1949, p. 1890.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

THÉORIE DES GROUPES. — *Les éléments libres des groupes libres.*

Note de Mlle **Sophie Piccard**, présentée par M. Paul Montel.

Un élément d'un groupe libre est dit *libre* s'il fait partie d'un système d'éléments générateurs libres du groupe. Le but de la présente Note est d'établir la condition nécessaire et suffisante pour qu'un élément d'un groupe libre de rang quelconque soit libre.

Soit G un groupe multiplicatif libre engendré par un ensemble $A = \{a_\alpha\}$ d'éléments générateurs libres, l'ensemble A pouvant être fini ou infini de puissance quelconque.

Proposition 1. — *Quel que soit le sous-groupe propre $G^\star$ du groupe libre G, tout élément libre de G qui fait partie de $G^\star$ est aussi un élément libre de $G^\star$.*

Démonstration. — Soit b un élément libre de G qui $\in G^\star$ et soit B un système de générateurs libres de G qui contient b. On sait que G est le produit du groupe cyclique (b) engendré par b et du groupe G_1 engendré par les éléments de l'ensemble $B - \{b\}$. Donc, d'après le théorème de Kurosh [1] relatif aux sous-groupes d'un produit libre, le sous-groupe $G^\star$, pour autant qu'il n'est pas cyclique, est le produit libre du groupe cyclique (b) par un groupe libre G_1. $G^\star$, en tant que sous-groupe propre d'un groupe libre, est lui-même un groupe libre et l'on obtient, comme on sait, un système de générateurs libres de $G^\star$ en faisant la réunion d'un système quelconque de générateurs libres du groupe (b) avec un système arbitraire de générateurs libres de $G_1^\star$. Il existe donc des systèmes de générateurs libres du groupe $G^\star$ dont fait partie l'élément b qui est donc bien un élément libre de $G^\star$. Et si le groupe $G^\star$ est cyclique, en vertu du même théorème de Kurosh, on a nécessairement $G^\star = (b)$ et par suite le groupe $G^\star$ est engendré par l'élément b qui est un générateur libre de ce sous-groupe.

Proposition 2. — *Quel que soit le sous-groupe $G^\star$ du groupe libre G, engendré par un sous-ensemble propre $A^\star$ de A et quel que soit l'élément libre de $G^\star$, cet élément est aussi un élément libre de G.*

Démonstration. — Soit b un élément libre de $G^\star$ et soit $B^\star$ un système de générateurs libres de $G^\star$ dont fait partie b. Le groupe libre G étant le produit libre du groupe libre G_1 engendré par l'ensemble des générateurs libres $A - A^\star$ et de $G^\star$, l'ensemble $[a - A^\star] \cup B^\star$ est un système de générateurs libres de G, qui contient l'élément b. Donc b est bien un élément libre de G. C. Q. F. D.

Si $G^\star$ est un groupe libre engendré par un système fini :

1° $a_1, \ldots, a_k$ de générateurs libres, on obtient, comme on sait, un nouveau système de générateurs libres de $G^\star$ en effectuant l'une ou l'autre des deux opérations suivantes : *a.* en remplaçant dans 1° un élément quelconque a_i par son inverse; *b.* en remplaçant dans le système 1° un élément quelconque a_i par le produit ha_i ou par $a_i h$, h désignant un élément quelconque de $G^\star$ qui s'obtient par composition finie d'éléments du système 1°, autres que a_i. Un système $b_1, \ldots, b_k$ de générateurs libres de $G^\star$ est dit *admis* [2] par rapport au système 1° s'il peut se déduire du système 1° par un nombre fini d'opérations des types *a* et *b*.

Proposition 3. — *Soit b un élément quelconque du groupe libre G engendré par l'ensemble A de ses générateurs libres. Soit :* 2° $a^{i_1}, \ldots, a^{i_r}$ *la représentation réduite de b par une composition finie d'éléments de A et soient :* 3° $a_1, a_2, \ldots, a_k$ *les éléments distincts, en nombre fini $k \geqq 1$, de A qui figurent dans la composition* 2° *qui, comme on sait, est unique. La condition nécessaire et suffisante pour que l'élément b soit un élément libre du groupe G est qu'il fasse partie d'un système admis par rapport à* 3° *de générateurs libres du groupe libre $G^\star$ engendré par les éléments* 3°.

Démonstration. — Il découle du théorème de Grouchko [3] que si un groupe libre $G^\star$ est engendré par un système fini 3° de générateurs libres, tout système de générateurs libres de $G^\star$ est admis par rapport à 3°.

La condition est nécessaire. En effet, soit b un élément libre de G. Comme il fait partie de $G^\star$, d'après la proposition 1, b est aussi un élément libre de $G^\star$. Il fait donc partie d'un système $b_1, \ldots, b_k$ de générateurs libres de $G^\star$ et, d'après le théorème de Grouchko, ce système est admis par rapport au système 3°. La condition énoncée est donc bien nécessaire.

La condition est suffisante. En effet, supposons qu'elle soit satisfaite et que b fasse partie d'un système de générateurs libres : 4° $b_1, \ldots, b_k$ admis par rapport à 3°. Mais alors b est aussi un élément libre du groupe G, d'après la proposition 2. C. Q. F. D.

Rappelons que si un groupe libre G est engendré par un nombre fini k de générateurs libres, tout système de k générateurs de G est formé d'éléments libres de G [4].

Proposition 4. — *Soit G un groupe multiplicatif non cyclique libre engendré par un ensemble A d'éléments libres. Soit k un entier $\geqq 2$ et soient $a_1, \ldots, a_k$, k éléments quelconques de A. Alors l'élément b_1 de G défini par la composition (non réduite) suivante des éléments $a_1, \ldots, a_k$:*

$$\left[a_1 (a_2 a_1^{r_2^1})^{r_2^2} (a_3 a_2^{r_3^2} a_1^{r_3^1})^{r_3^3} \ldots (a_k a_{k-1}^{r_k^{k-1}} a_{k-2}^{r_k^{k-2}} \ldots a_1^{r_k^1})^{r_k^k}\right]^{r_1^1} a_k a_{k-1}^{r_k^{k-1}} a_{k-2}^{r_k^{k-2}} \ldots a_1^{r_k^1},$$

où $r_i^1, r_i^2, \ldots, r_i^i$ $(i = 1, 2, \ldots, k)$ sont des entiers quelconques, est un élément libre du groupe G.

Démonstration. — Associons à b_1 les $k-1$ éléments $b_2, \ldots, b_k$ de G définis par les compositions (non réduites) suivantes des éléments $a_1, \ldots, a_k$:

$$
\begin{array}{l}
a_1 (a_2 a_1^{r_2^1})^{r_2^2} (a_3 a_2^{r_3^2} a_1^{r_3^1})^{r_3^3} \ldots (a_k a_{k-1}^{r_k^{k-1}} a_{k-2}^{r_k^{k-2}} \ldots a_1^{r_k^1})^{r_k^k}, \\
a_{k-1} a_{k-2}^{r_{k-1}^{k-2}} \ldots a_1^{r_{k-1}^1}, \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
a_2 a_1^{r_2^1}.
\end{array}
$$

On voit sans peine que les k éléments $b_1, \ldots, b_k$ forment un système admis par rapport au système $a_1, \ldots, a_k$ de générateurs libres du groupe libre A^* engendré par ce dernier système. Donc, d'après la proposition 3, b_1 est bien un élément libre de G. C. Q. F. D.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) A. G. KUROSH, *Théorie des groupes* (en russe), 2e éd., p. 212 et suiv.

(2) *Ibid.*, p. 253.

(3) *Ibid.*, p. 253 et suiv.

(4) *Ibid.*, p. 254.

TOPOLOGIE ALGÉBRIQUE. — *Une propriété de la classe caractéristique d'un fibré principal.* Note de M. **Weishu Shih**, présentée par M. Paul Montel.

Tous les ensembles simpliciaux X considérés ici sont munis d'un point-base, les groupes d'homotopie et les fibres-types dans les fibrés sont tous pris par rapport à ce point distingué. On désigne par ${}^{(n)}X$ le $n^{\text{ième}}$ squelette de X, et $X^{[n]}$ la fibre de son $n^{\text{ième}}$ système de Postnikov (4). Toutes les homologies sont à coefficients dans un anneau principal Λ.

On sait qu'un fibré principal E de base B et de groupe structural G tel que

$$(1) \qquad \pi_i(G) = 0 \quad \text{pour} \quad i < n$$

possède une classe caractéristique

$$\xi_E \in H^{n+1}(B, H_n(G)).$$

On peut la définir de la manière suivante : soit

$$f^* : \quad H^{n+1}(\overline{W}(G), H_n(G)) \to H^{n+1}(B, H_n(G))$$

le morphisme défini par une application f de B dans le classifiant $\overline{W}(G)$ de G qui induit le fibré principal associé à E. Et désignons par

$$\xi_0 \in H^{n+1}(\overline{W}(G), H_n(G))$$

la classe dont l'image par l'isomorphisme de la transgression

$$H^{n+1}(\overline{W}(G), H_n(G)) \cong H^n(G, H_n(G))$$

est égale à l'unique élément de $H^n(G, H_n(G))$ qui correspond à l'application identique de $H_n(G)$ par le théorème des coefficients universels. Alors on pose

$$\xi_E = f^*(\xi_0).$$

Rappelons que si A est une algèbre graduée sur l'anneau Λ, alors

$$H^*(X, A) = \sum_{p,r} H^p(X, A_r)$$

désigne l'algèbre bigraduée dont la multiplication est définie par l'application composée

$$H^p(X, A_r) \otimes H^q(X, A_s) \xrightarrow{\cup} H^{p+q}(X, A_r \otimes A_s) \xrightarrow{(-1)^{q-r}} H^{p+q}(X, A_{r+s}),$$

où $\cup$ désigne le « cup-produit » ordinaire.

Maintenant considérons le cas où A est égale à l'algèbre de Pontrjagin d'un groupe simplicial G; alors on a :

THÉORÈME 1. — *Si un fibré principal* E *de groupe* G *satisfait à* (1), *le carré de sa classe caractéristique* ξ_E *est nul dans l'algèbre bigraduée* $H^*(B, H_*(G))$.

On démontre d'abord cette assertion dans le cas où le $n^{\text{ième}}$ squelette de G est réduit au point-base, en se servant du théorème de Brown ([1]), ([3]). Ensuite le cas général s'en déduit à l'aide des propositions ([2]) suivantes :

PROPOSITION 1. — *Soit* E *un fibré dont le groupe structural* G *vérifie* $\pi_i(G) = 0$, $i < n$; *alors le fibré induit par* E *sur le* $n^{\text{ième}}$ *squelette* ${}^{(n)}B$ *de la base est trivial.*

PROPOSITION 2. — *Pour qu'un fibré* E *de groupe structural* G *soit trivial au-dessus de* ${}^{(n)}B$, *il faut et il suffit que le fibré principal associé à* E *soit obtenu par agrandissement du groupe structural à partir d'un fibré de groupe* $G^{[n-1]}$.

COROLLAIRE DE LA PROPOSITION 2. — *Pour tout fibré* E, *trivial au-dessus de* ${}^{(n)}B$, *on a* $\eta^2 = 0$, *chaque fois que la classe* η *est l'image de la classe caractéristique d'un fibré de groupe* $G^{[n-1]}$ *obtenu par restriction du groupe structural de* E.

Soit Λ un groupe abélien, et soit $H_*(\Lambda, n)$ l'homologie à coefficients entiers de $K(\Lambda, n)$. Identifiant Λ à $H_n(\Lambda, n)$, la multiplication de l'algèbre $H_*(\Lambda, n)$ induit une application

$$\Lambda \otimes \Lambda \to H_{2n}(\Lambda, n). \tag{2}$$

THÉORÈME 2. — *Pour tout* $\xi \in H^{n+1}(X; \Lambda)$, *l'élément de* $H^{2n+2}(X, H_{2n}(\Lambda, n))$, *cup-carré de* ξ *pour l'application* (2), *est nul.*

En effet, il existe un fibré principal de base X, de groupe $K(\Lambda, n)$, dont ξ est la classe caractéristique. On applique le théorème 1.

(1) E. H. BROWN, *Ann. Math.*, 69, 1959, p. 223-246.
(2) H. CARTAN, *Séminaire*, 1956-1957, exp. 4, proposition 6.
(3) V. K. A. M. GUGENHEIM, *Illinois J. Math.*, 4, n° 2, 1960.
(4) J. C. MOORE, *Notes on Homotopy Theory*, Princeton University Press, 1956.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur l'ordre moyen de quelques fonctions arithmétiques.* Note de MM. **Komaravolu Chandrasekharan** et **Raghavan Narasimhan**, présentée par M. Paul Montel.

Soit

(1) $$D(x)=\sum_{n=1}^{x} d(n) = x\log x + (2\gamma - 1)x + \Delta(x),$$

où $d(n)$ désigne le nombre des diviseurs de l'entier n. Hardy a démontré que

(2) $$\Delta(x) = \Omega_{+}\left(x^{\frac{1}{4}} \log^{\frac{1}{4}} x \log\log x\right),$$

(3) $$\Delta(x) = \Omega_{-}\left(x^{\frac{1}{4}}\right).$$

Plus tard, Ingham a démontré [1] un résultat plus fort que (3), c'est-à-dire que

(4) $$\liminf_{x\to\infty} \frac{\Delta(x)}{x^{\frac{1}{4}}} = -\infty.$$

La méthode d'Ingham a été récemment généralisée par nous [2] à une classe de fonctions arithmétiques dont les « fonctions génératrices » sont des séries de Dirichlet satisfaisant à une équation fonctionnelle de Hecke du type

(5) $$\Gamma(s)\varphi(s) = \Gamma(\delta - s)\psi(\delta - s)$$

définie pour s complexe et δ réel suivant Bochner [3]. La fonction génératrice de la « fonction-diviseur » est

$$\zeta^2(s) = \sum_{n=1}^{\infty} d(n) n^{-s},$$

qui se trouve comme une solution de l'équation

(6) $$\Gamma^2\left(\frac{1}{2}s\right)\varphi(s) = \Gamma^2\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}s\right)\psi(1-s)$$

et non pas de (5). Parmi les autres solutions de (6) se trouvent les fonctions ζ des corps quadratiques réels. Si $\mathfrak{K}$ est un corps quadratique réel du discriminant $d > 0$ et $\mathfrak{C}$ une classe d'idéaux dans $\mathfrak{K}$, la fonction ζ de $\mathfrak{C}$ est

(7) $$\zeta_{\mathfrak{K}}(s, \mathfrak{C}) = \sum_{\mathfrak{a}\in\mathfrak{C}} (N\mathfrak{a})^{-s},$$

où $\mathfrak{a}$ parcourt tous les idéaux entiers non nuls dans $\mathfrak{C}$ et celle-ci satisfait à l'équation

(8) $$\left(\frac{\pi}{\sqrt{d}}\right)^{-s}\Gamma^2\left(\frac{1}{2}s\right)\zeta_{\mathfrak{K}}(s, \mathfrak{C}) = \left(\frac{\pi}{\sqrt{d}}\right)^{s-1}\Gamma^2\left(\frac{1-s}{2}\right)\zeta_{\mathfrak{K}}(1-s, \tilde{\mathfrak{C}}),$$

où $\tilde{\mathfrak{C}}$ désigne la classe complémentaire. Si l'on écrit

$$\zeta_{\mathfrak{K}}(s, \mathfrak{C}) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n n^{-s},$$

où a_n désigne le nombre des idéaux entiers dans la classe $\mathfrak{C}$ avec la norme n, on sait que [4]

$$\sum_{n \leq x} a_n = \frac{2 \log \varepsilon}{\sqrt{d}} x + \mathrm{E}(x),$$

où $\varepsilon > 1$ est « l'unité fondamentale » du corps $\mathfrak{K}$, et

$$\mathrm{E}(x) = \mathrm{O}\left(x^{\frac{1}{3}}\right), \qquad \mathrm{E}(x) = \Omega\left(x^{\frac{1}{4}-\eta}\right) \tag{9}$$

pour tout $\eta > 0$. Nous démontrons que

$$\limsup_{x \to \infty} \frac{\mathrm{E}(x)}{x^{\frac{1}{4}}} = +\infty, \qquad \liminf_{x \to \infty} \frac{\mathrm{E}(x)}{x^{\frac{1}{4}}} = -\infty. \tag{10}$$

Les relations (10) et (4) deviennent toutes les deux des cas particuliers des théorèmes suivants sur l'ordre moyen des coefficients des séries de Dirichlet qui sont solutions de l'équation (6).

Théorème I. — *Soit* $\varphi(s) = \sum_1^{\infty} a_n \lambda_n^{-s}$, $\psi(s) = \sum_1^{\infty} b_n \mu_n^{-s}$ *une solution de l'équation* (6). *Supposons que la suite* $\{\lambda_n\}$ *contienne une partie* $\{\lambda_{n_k}\}$ *telle que* $\lambda_n^{1/2}$ *puisse être représenté comme une combinaison linéaire des nombres* $\{\lambda_{n_k}^{1/2}\}$ *avec coefficients* ± 1 *sauf pour le cas* $\lambda_n^{1/2} = \pm \lambda_{n_r}^{1/2}$ *pour un certain* r, *où* $\lambda_n^{1/2}$ *ne possède aucune autre représentation. Supposons en plus que*

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{|\mathrm{Re}\, b_{n_k}|}{\mu_{n_k}^{\frac{1}{2}\rho + \frac{3}{4}}} = +\infty. \tag{11}$$

où ρ *est un entier positif ou nul. On a alors*

$$\overline{\underline{\lim}} \frac{\mathrm{Re}\left[\mathrm{A}_\lambda^\rho(x) - \mathrm{Q}_\rho(x)\right]}{x^{\frac{1}{2}\rho + \frac{1}{4}}} = \pm\infty, \tag{12}$$

où

$$\mathrm{A}_\lambda^\rho(x) = \frac{1}{\Gamma(\rho+1)} \sum_{\lambda_n \leq x} a_n (x - \lambda_n)^\rho$$

et

$$\mathrm{Q}_\rho(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\mathcal{C}_\rho} \frac{\Gamma(s)\varphi(s)}{\Gamma(s+\rho+1)} x^{s+\rho}\, ds.$$

où $\mathcal{C}_\rho$ *est une courbe contenant dans son intérieur les singularités de l'intégrande.*

THÉORÈME II. — *Soit* ρ *un entier positif ou zéro. Si* Re $(b_n) \neq 0$ *pour au moins une valeur de n, on a*

$$\mathrm{Re}\left[A_\lambda^\rho(x) - Q_\rho(x)\right] = \Omega_\pm\left(x^{\frac{1}{2}\rho+\frac{1}{4}}\right).$$

Si Im $b_n \neq 0$ *pour au moins une valeur de n, on a*

$$\mathrm{Im}\left[A_\lambda^\rho(x) - Q_\rho(x)\right] = \Omega_\pm\left(x^{\frac{1}{2}\rho+\frac{1}{4}}\right).$$

La quantité $(1/2)\rho + 1/4$ *est « la meilleure possible » pour* ρ *assez grand, dans le sens que pour un tel* ρ *on a*

$$A_\lambda^\rho(x) - Q_\rho(x) = O\left(x^{\frac{1}{2}\rho+\frac{1}{4}}\right).$$

La démonstration des théorèmes I et II est basée sur l'identité suivante, que nous démontrons comme conséquence de l'équation (6) :

$$(13) \qquad A_\lambda^\rho(x) = Q_\rho(x) - 2^{-\rho} x^{\frac{1}{2}(1+\rho)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{\mu_n^{\frac{1}{2}(\rho+1)}} F_{1+\rho}\left\{4(\mu_n x)^{\frac{1}{2}}\right\},$$

où $x > 0$, ρ est un entier, $\rho \geqq 2\beta - 3/2$, où β possède la propriété que $\sum_1^\infty |b_n| \mu_n^{-\beta} < \infty$ et

$$F_n(x) = Y_n(x) + 2(-1)^{n-1}\pi^{-1}K_n(x),$$

Y_n et K_n sont les fonctions de Bessel.

(1) *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 36, 1940, p. 131-138.

(2) *Hecke's Functional Equation and the Average Order of Arithmetical Functions* (sous presse).

(3) *Ann. Math.*, 53, 1951, p. 332-363.

(4) E. LANDAU, *Einführung in die Elementare und analytische Theorie der algebraischen Zahlen und der Ideale*, Chelsea, 1949, p. 135 et 139.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE. — *Invariants différentiels d'un tenseur asymétrique du second ordre à quatre dimensions.* Note (*) de M. **Jacques Romain**, transmise par M. Frans van den Dungen.

Nous donnons des expressions explicites des 24 invariants différentiels indépendants du premier ordre d'un tenseur asymétrique du second ordre à quatre dimensions.

Dans une Note précédente [1] nous avons déterminé le nombre des invariants différentiels d'ordre quelconque d'un tenseur asymétrique réel d'ordre 2, et nous avons donné une première indication de leur structure. Nous explicitons ici les invariants différentiels du premier ordre (c'est-à-dire fonctions des composantes du tenseur et de leurs dérivées partielles premières par rapport aux coordonnées) d'un tel tenseur dans un espace à quatre dimensions. Ces invariants sont au nombre de 24 indépendants.

Les notations sont celles de la Note précédente. Nous utiliserons aussi la densité et la capacité tensorielles de permutation ε^{pqrs} et ε_{pqrs} complètement antisymétriques, de composantes 0 et ± 1. Nous emploierons les notations usuelles pour désigner les indices tensoriels élevés à l'aide des γ^{ij}, exception faite pour les

$$\Phi^{ij} = \frac{1}{2}\gamma^{-\frac{1}{2}}\varepsilon^{ijkh}\varphi_{kh}$$

(définition choisie de façon à rester valable que φ soit nul ou non), et nous placerons entre parenthèses les indices élevés à l'aide des Φ^{ij} :

$$U_{..}{}^{i}{}_{..} = \gamma^{ij}U_{..j..}, \qquad U_{..}{}^{(i)}{}_{..} = \Phi^{ij}U_{..j..}.$$

Enfin nous définirons les deux tenseurs indépendants

$$A_{hijk} = \gamma^{pq}\varphi_{hi:p}\varphi_{jk:q}, \qquad B_{hijk} = \Phi^{pq}\varphi_{hi:p}\varphi_{jk:q},$$

en fonction desquels les invariants cherchés peuvent être exprimés. Le premier fournira 15 invariants indépendants, le second 9.

Nous supposons dans cette Note le déterminant γ non nul.

1. *Les 15 invariants indépendants du tenseur* A_{hijk}. — Formons l'invariant

$$I_1 = \gamma^{-\frac{1}{2}}\varepsilon^{pqrs}A_{pqrs},$$

et définissons le nouveau tenseur

$$A'_{hijk} = A_{hijk} - \frac{1}{24}\sqrt{\gamma}\,\varepsilon_{hijk}I_1.$$

Ce tenseur a les mêmes propriétés de symétrie que le tenseur de Riemann-Christoffel R_{hijk} d'un espace riemannien; comme lui il a, dans l'espace à quatre dimensions, 20 composantes indépendantes et donne lieu à 14 invariants indépendants. On peut lui appliquer immédiatement les

résultats obtenus par MM. Géhéniau et Debever [2], [3], [4], qui ont fourni trois expressions différentes d'un système de 14 invariants indépendants du tenseur R_{hijk} à quatre dimensions; il conviendra d'y ajouter l'invariant indépendant I_1 défini ci-dessus. Nous nous bornons ici à donner une forme d'un système de 15 invariants indépendants.

En posant

$$\gamma_{hijk} = \gamma_{hj}\gamma_{ik} - \gamma_{hk}\gamma_{ij}, \qquad A_{ij} = A'^{k}{}_{ijk} = A^{k}{}_{ijk}, \qquad A = A^{i}{}_{i},$$

$$\delta^{jk}_{hi} = \delta^{j}_{h}\delta^{k}_{i} - \delta^{k}_{h}\delta^{j}_{i}, \qquad C_{hijk} = A'_{hijk} + \frac{A}{12}\gamma_{hijk},$$

$$C_{ij} = C^{k}{}_{ijk} = A_{ij} - \frac{A}{4}\gamma_{ij}, \qquad C^{\star}_{hijk} = \frac{\gamma}{4}\varepsilon_{hipq}\varepsilon_{jkrs}C^{pqrs},$$

$$D_{hijk} = \frac{1}{2}(C_{hijk} + C^{\star}_{hijk}), \qquad E_{hijk} = \frac{1}{2}(C_{hijk} - C^{\star}_{hijk}),$$

$$\overline{D}_{hijk} = \frac{1}{2}\sqrt{\gamma}\,D_{hi}{}^{pq}\varepsilon_{jkpq}, \qquad \overline{E}_{hijk} = \frac{1}{2}\sqrt{\gamma}\,E_{hi}{}^{pq}\varepsilon_{jkpq},$$

$$D^{+}_{hijk} = \frac{1}{2}(D_{hijk} + \overline{D}_{hijk}), \qquad D^{-}_{hijk} = \frac{1}{2}(D_{hijk} - \overline{D}_{hijk}),$$

$$E^{+}_{hijk} = \frac{1}{2}(E_{hijk} + \overline{E}_{hijk}), \qquad E^{-}_{hijk} = \frac{1}{2}(E_{hijk} - \overline{E}_{hijk}),$$

un système de 15 invariants indépendants peut s'écrire comme suit :

$$I_1, \qquad I_2 = A, \qquad I_3 = C_i{}^{j}C_j{}^{i}, \qquad I_4 = C_i{}^{j}C_j{}^{k}C_k{}^{i},$$

$$I_5 = C_i{}^{j}C_j{}^{k}C_k{}^{h}C_h{}^{i}, \qquad I_6 = D^{+}_{hi}{}^{jk}D^{+}_{jk}{}^{hi}, \qquad I_7 = D^{-}_{hi}{}^{jk}D^{-}_{jk}{}^{hi},$$

$$I_8 = D^{+}_{hi}{}^{jk}D^{+}_{jk}{}^{pq}D^{+}_{pq}{}^{hi}, \qquad I_9 = D^{-}_{hi}{}^{jk}D^{-}_{jk}{}^{pq}D^{-}_{pq}{}^{hi},$$

$$I_{10} = E^{+}_{hi}{}^{jk}D_{jk}{}^{pq}E_{pq}{}^{hi}, \qquad I_{11} = E^{-}_{hi}{}^{jk}D_{jk}{}^{pq}E_{pq}{}^{hi},$$

$$I_{12} = E^{+}_{hi}{}^{jk}E^{+}_{jk}{}^{pq}D_{pq}{}^{mn}E_{mn}{}^{st}E_{st}{}^{hi}, \qquad I_{13} = E^{-}_{hi}{}^{jk}E^{-}_{jk}{}^{pq}D_{pq}{}^{mn}E_{mn}{}^{st}E_{st}{}^{hi},$$

$$I_{14} = E^{+}_{hi}{}^{jk}D_{jk}{}^{pq}D_{pq}{}^{mn}E_{mn}{}^{hi}, \qquad I_{15} = E^{-}_{hi}{}^{jk}D_{jk}{}^{pq}D_{pq}{}^{mn}E_{mn}{}^{hi}.$$

2. *Les 9 invariants indépendants du tenseur* B_{hijk}. — Le tenseur B_{hijk} a 15 composantes indépendantes, car il jouit des propriétés d'antisymétrie

$$B_{hijk} = -B_{ihjk} = -B_{hikj} = -B_{jkhi}.$$

Posons

$$B^{\star}_{hijk} = \frac{\gamma}{4}\varepsilon_{hipq}\varepsilon_{jkrs}B^{(pqrs)}, \qquad a = \left(\frac{\varphi}{\gamma}\right)^{\frac{1}{2}},$$

$$H_{hijk} = \frac{1}{2}\left(aB_{hijk} + \frac{1}{a}B^{\star}_{hijk}\right), \qquad J_{hijk} = \frac{1}{2}\left(aB_{hijk} - \frac{1}{a}aB^{\star}_{hijk}\right)$$

(ces deux dernières relations restant valables par passage à la limite dans le cas $\varphi = 0$);

$$B_{ij} = B^{(k)}{}_{ijk}, \qquad L_{jk} = \frac{1}{2}\Phi^{hi}B_{hijk}.$$

Les identités

$$H_{hijk} \equiv \frac{1}{2}(\varphi_{hj}B_{ik} + \varphi_{ik}B_{hj} - \varphi_{hk}B_{ij} - \varphi_{ij}B_{hk}),$$

$$J_{hijk} \equiv \frac{1}{2}(\varphi_{hi}L_{jk} - \varphi_{jk}L_{hi})$$

expriment les tenseurs H_{hijk} et J_{hijk} en fonction des tenseurs du second ordre B_{ij}, L_{ij}. Les invariants indépendants cherchés peuvent donc s'exprimer en fonction de ces derniers tenseurs. Une expression en est

$$I_{16} = B = \gamma^{ij} B_{ij}, \qquad I_{17} = \delta^{jk}_{hi} B^h{}_j B^i{}_k, \qquad I_{18} = \gamma_{ij} (B)^{ij},$$

$$I_{19} = \text{dét}\, B^i{}_j = \frac{1}{\gamma} \text{dét}\, B_{ij}, \qquad I_{20} = \text{dét}\, L^i{}_j = \left(\frac{1}{8} \gamma^{-\frac{1}{2}} \varepsilon^{hijk} L_{hi} L_{jk} \right)^2,$$

$$I_{21} = \gamma^{hi} \gamma^{jk} L_{hj} L_{ik}, \qquad I_{22} = B^{ij} B^{hk} L_{ih} L_{jk},$$

$$I_{23} = B^{ih} B_h{}^j B^{km} B_m{}^n L_{ik} L_{jn}, \qquad I_{24} = B^{ih} B_h{}^m B_m{}^j B^{kn} B_n{}^p B_p{}^q L_{ik} L_{jq}.$$

où $(B)^{ij}$ désigne les mineurs normés du déterminant des B_{ij}.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2777.

(2) J. GÉHÉNIAU et R. DEBEVER, *Bull. Acad. Roy. Belg.*, Cl. Sc., 42, 1956, p. 114-123.

(3) J. GÉHÉNIAU, *ibid.*, p. 252-255.

(4) R. DEBEVER, *ibid.*, p. 608-621.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Estimation dans les processus de Markov discrets.* Note de M. **Bui Trong Lieu**, présentée par M. Maurice Fréchet.

Nous nous proposons d'estimer un paramètre réel figurant dans l'expression de la densité de probabilité de passage. Nous utiliserons la méthode du maximum de vraisemblance. La terminologie sera empruntée à (1).

Soit un processus de Markov homogène, discret, défini pour $t \in Z_+$. Désignons par $(\mathfrak{X}, \mathcal{B})$ l'espace des états, $P(x, A)$ où $x \in \mathfrak{X}$, $A \in \mathcal{B}$ la probabilité de passage de x à A. Nous noterons le processus par $\{P_t(.,.), t \in Z_+\}$ l'espace, la σ-algèbre et la mesure produits $\mathfrak{X} \times \mathfrak{X}$, $\mathcal{B} \times \mathcal{B}$ et $\mu \times \mu$ par $\hat{\mathfrak{X}}$, $\hat{\mathcal{B}}$ et $\hat{\mu}$.

Nous supposerons dans ce qui suit (hypothèse $\mathcal{L}$) : que $\exists$ une seule classe ergodique sans sous-classes cycliques; que $\exists$ une mesure μ sur $(\mathfrak{X}, \mathcal{B})$ telle que $0 < \mu(\mathfrak{X}) < \infty$ et telle que $\forall x \in \mathfrak{X}$, $P(x, .)$ possède une densité de Radon-Nikodym $p(x, .)$ bornée presque partout par rapport à μ; que $p(x, y)$ est une fonction mesurable-$\hat{\mathcal{B}}$; notons par Π_0 la densité de probabilité absolue stationnaire, $\Pi_0(y) = \lim_{n \to \infty} p_n(x, y)$ presque partout par rapport à μ; supposons que Π_0 et p dépendent d'un paramètre réel $\theta \in I$, où I désigne un intervalle dans R, contenant θ_0, valeur vraie de θ; que $\forall x$, $y \in \mathfrak{X}$, $(\partial^\nu/\partial\theta^\nu)\Pi_0$ et $(\partial^\nu/\partial\theta^\nu)p$ existent et sont bornées p. p. par rapport à μ, pour $\nu = 1, 2, 3$; que

$$\int_{\hat{\mathfrak{X}}} \sup_{\theta \in I} \left| \frac{\partial^k}{\partial\theta^k} \Pi_0 \right| d\mu < \infty \quad \text{et} \quad \int_{\hat{\mathfrak{X}}} \sup_{\theta \in I} \left| \frac{\partial^k}{\partial\theta^k} p \right| d\hat{\mu} < \infty \quad \text{pour } k = 1, 2;$$

et enfin que

$$E \sup_{\theta \in I} \left| \frac{\partial^3}{\partial\theta^3} \log p \right| < \infty.$$

Désignons par $\{X_t, t \in Z_+\}$ la fonction aléatoire strictement stationnaire du processus, ayant Π_0 pour densité de probabilité absolue. Soient $x_0, x_1, \ldots, x_n \in \mathfrak{X} - \Lambda$, $\mu(\Lambda) = 0$, les états que prend la fonction aléatoire $\{X_t, t \in Z_+\}$ aux instants $t = 0, 1, 2, \ldots, n$. L'équation de vraisemblance, s'écrit

$$(1) \qquad \frac{\partial}{\partial\theta} L_n(\theta) = \frac{\partial}{\partial\theta} \log \Pi_0(x_0; \theta) + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\partial}{\partial\theta} \log p(x_i, x_{i+1}; \theta) = 0.$$

Nous avons le résultat suivant, $\|.\|$ désignant la norme dans L_2.

Théorème 1. — *Sous l'hypothèse* $(\mathcal{L})$, *si* $E[(\partial/\partial\theta) \operatorname{Log} p]^{2+\delta} < \infty$, $\forall \theta \in I$ *pour un* $\delta < 0$, *alors*

(i) *L'équation* (1), *équation en* θ, *a une racine simple quand* $n \geq N$, *où* N *est une variable aléatoire p. s. finie. Cette racine, notée* $\mathcal{C}_n$, *tend p. s. vers* θ_0 *quand* $n \to \infty$.

(ii) $\sqrt{n}\,(\mathcal{C}_n - \theta)$ *tend en loi vers une variable aléatoire de Laplace-Gauss de moyenne* o *et d'écart-type*

$$\sigma = \frac{1}{\lim\limits_{n\to\infty} \left\| \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{\partial}{\partial\theta} L_n(\theta) \right\|} = \frac{1}{\sqrt{\int_{\hat{\mathfrak{X}}} \frac{\Pi_0}{p} \left(\frac{\partial}{\partial\theta}\right)^2 d\hat{\mu}}}.$$

La démonstration se fait à l'aide des théorèmes dans ([3]) (p. 219 et 228), et par l'introduction du processus à deux dimensions $\{R_t(.,\ .),\ t \in Z_+\}$ défini comme suit : pour tout $\hat{A} \in \hat{\mathcal{B}}$ qui est un rectangle $A \times B$,

$$R_n[(x, y), \hat{A}] = \begin{cases} \int_B I_A(y)\, P(y, dz) & \text{si } n = 1, \\ \int_B \int_A P_{n-1}(y, dz)\, P(z, du) & \text{si } n > 1. \end{cases}$$

et l'on étend ensuite la définition de $R_n[(x, y), .]$ sur $\hat{\mathcal{B}}$.

Définition. — $\mathcal{C}_n$ est dit asymptotiquement et fortement (resp. faiblement) efficace « au sens large », si $\exists$ une suite de variables aléatoires du second ordre $\{Z_n(\theta)\}$ dépendant de θ, telle que $\forall\, \theta \in I$: 1° $\lim\limits_{n\to\infty} E\, Z_n(\theta) = 0$; 2° $\lim\limits_{n\to\infty} \| Z_n(\theta) \| = 1$; 3° $\| \partial/\partial\theta\, L_n(\theta) \|\, (\mathcal{C}_n - \theta) - Z_n \to 0$ p. s. (resp. en probabilité) quand $n \to \infty$.

Cette notion a été introduite par Wald [*cf.* ([4])], mais seulement avec la convergence en probabilité. Avec la définition ci-dessus, nous précisons le mode de convergence. Si nous supprimons la condition $E[(\partial/\partial\theta) \log p]^{2+\delta} < \infty$ nous obtiendrons le résultat plus faible suivant

Théorème 2. — *Sous* ($\mathcal{C}$),

(i) *l'équation* (1) *a une racine simple quand* $n \geq N$. *Cette racine* $\mathcal{C}_n$ *tend p. s. vers* θ_0, *quand* $n \to \infty$.

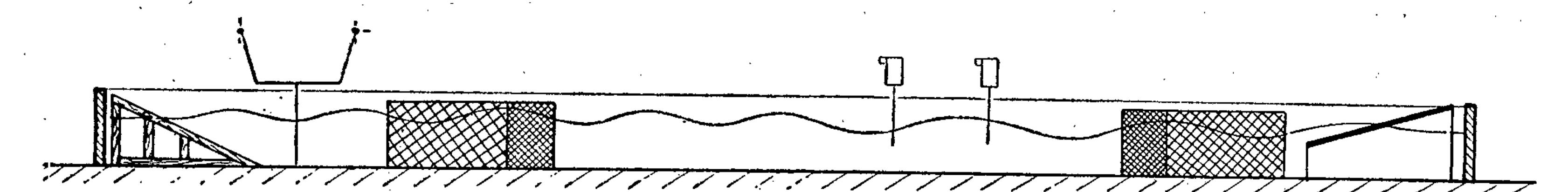
(ii) $\mathcal{C}_n$ *est asymptotiquement et fortement efficace « au sens large ».*

Remarque. — L'application de ces résultats au cas dénombrable et au cas fini est immédiate. Ce dernier cas a été étudié dans ([2]).

(1) Blanc-Lapierre et Fortet, *Théorie des fonctions aléatoires.*
(2) Bui-Trong-Lieu, *Thèse* 3e *cycle.*
(3) J. L. Doob, *Stochastic processes.*
(4) A. Wald, *Ann. Math. Stat.*, 19, 1948, p. 40-46.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Étude expérimentale des phénomènes parasites décelables dans un canal à houle. Principe de la méthode.* Note (*) de MM. **Pierre Gaillard** et **Clovis Marcou**, présentée par M. Henri Villat.

L'objet de la présente Note est l'étude expérimentale des phénomènes parasites observables dans un canal à houle pour une certaine gamme de périodes et de cambrures de la houle émise par le batteur. On trouvera dans (1) leur description et dans (2), (3) celle de l'appareil S. M. utilisé pour l'étude de la propagation du mouvement. L'analyse harmonique d'un profil temporel, enregistré à l'aide d'une pointe mobile suivant une verticale fixée, révèle la présence d'harmoniques de périodes $2\,T/p$; $p = 1, 3, 5, \ldots$, T étant la période du mouvement du batteur. Des premières recherches entreprises (3), (4), il résultait qu'à l'égard des moyens d'investigation disponibles, l'amplitude de ces harmoniques était indépendante de la



position choisie pour la pointe de mesure à l'intérieur du canal : le phénomène parasite semblait se composer d'ondes progressives planes ne présentant aucune réflexion à l'extrémité du canal et justiciables d'une théorie linéaire. Nous présentons ici une étude de l'évolution des phases α_{pi} des harmoniques de périodes $2\,T/p$ suivant une méthode utilisée par C. Marcou (4).

Avec les hypothèses énoncées, l'étude consiste à vérifier que le déphasage $\delta\alpha_{pi}$ entre deux points dont les abscisses diffèrent de δx_i vérifie la relation

$$\frac{\delta x_i}{\lambda_p} - \frac{\delta \alpha_{pi}}{2\pi} = \frac{m_i}{2},$$

où λ_p est la longueur d'onde définie par la formule d'Airy, et m_i un nombre algébrique entier quelconque traduisant le fait que le temps t n'est défini qu'à KT près sur les enregistrements.

Nous définissons la longueur d'onde λ_{pm} la mieux adaptée aux résultats expérimentaux comme étant celle qui rend minimale la somme

$$S_p = \sum_{i=1}^{m} \varepsilon_{ip}^2 = n\sigma_p^2, \qquad \text{où} \quad \varepsilon_{ip} = \frac{\delta x_i}{\lambda_p} - \frac{\delta\alpha_{pi}}{2\pi} - \frac{m_i}{2}; \qquad -\frac{1}{4} < \varepsilon_i < \frac{1}{4},$$

n représente le nombre total de profils temporels analysés et σ l'écart-type de la distribution des écarts ε_i, théoriquement centrée sur la valeur zéro. En pratique, les calculs sont conduits de la manière suivante : on évalue

d'abord les écarts relatifs à une longueur d'onde de référence λ_{pr}, par exemple la valeur déduite de la formule d'Airy; on en déduit ensuite λ_{pm} et σ_{pm} à l'aide des formules

$$u_p = \frac{1}{\lambda_p}; \qquad u_{pm} - u_{pr} = -\frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{ipr}\, \delta x_i}{\sum_{i=1}^{n} \delta x_i};$$

$$\delta_{pm} - \delta_{pr} = -(u_{pm} - u_{pr})^2 \sum_{i=1}^{n} (\delta x_i)^2 = (u_{pm} - u_{pr}) \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{ipr}\, \delta x_i.$$

Les données expérimentales choisies sont : T = 0,850 s, $h = 31,7$ cm et les dispositifs amortisseurs sont ceux de la figure 1 : ils sont constitués d'une plage articulée [*cf.* ([5])] et d'éléments de filtre type Biesel à mailles larges ou fines. Le procédé d'enregistrement à l'aide de pointes mobiles a été choisi de préférence à celui utilisant des peignes de pointes fixes, essentiellement en raison de la simplicité et de la rapidité de sa mise en œuvre. Ne disposant pas, à l'époque des essais, de pointes mobiles dont les vitesses de déplacement vertical fussent identiques avec une précision suffisante, nous avons effectué des enregistrements en plusieurs abscisses, à 3 ou 4 mn d'intervalle, à l'aide d'une même pointe mobile. L'analyse harmonique des profils temporels a été opérée à partir des mesures de 24 valeurs régulièrement réparties sur l'intervalle T. Les essais comportent des enregistrements réalisés :

a. en une même abscisse longitudinale à diverses distances des parois latérales;

b. à plusieurs reprises en trois abscisses invariables;

c. en plusieurs abscisses réparties par groupes de trois le long du canal, chaque profil d'un même groupe étant rapporté à une origine des temps commune.

Les résultats de nos dépouillements feront l'objet d'une Note ultérieure.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

([1]) J. KRAVTCHENKO et L. SANTON, *Proceed. of the Vth Conf. on Coastal Eng.*, Grenoble, 1954, p. 62-67.

([2]) L. SANTON et C. MARCOU, *La Houille blanche*, nº 3, 1953, p. 411-417.

([3]) L. SANTON, *Proceed. of the Vth Conf. on Coastal Eng.*, Grenoble, 1954, p. 189-207.

([4]) C. MARCOU, *IVe Journées de l'Hydraulique*, Paris, 1956 (*Les énergies de la mer*, p. 60-64).

([5]) C. MARCOU, *Proceed. of the Vth Conf. on the Coastal Eng.*, Grenoble, 1954, p. 258-268.

MÉCANIQUE PHYSIQUE. — *Observation de petites surfaces de frottement et d'usure par la méthode des répliques. Cas des diamants de forage.* Note (*) de MM. **Robert Courtel** et **Edmond Mencarelli**, présentée par M. Jean-Jacques Trillat.

On a étudié par la méthode des répliques au vernis cellulosique, et celle de la double empreinte vernis/carbone, la surface de diamants de petites dimensions (ordre : 1 mm) utilisés pour le forage. Les différents accidents caractéristiques de ces surfaces, causés par le travail dans la roche (fêlures, réseau de gradins, piquetage superficiel), sont décrits et analysés sommairement.

Pour préciser les possibilités d'application de la méthode des répliques au cas des petites surfaces de frottement, on a observé de cette façon des diamants de forage ayant des dimensions de l'ordre du millimètre; quelques centaines d'entre eux étaient sertis sur une couronne d'un type classique pour le forage des puits. Ce trépan a été examiné tel qu'il avait été prélevé en service normal, la surface des grains étant toutefois soigneusement nettoyée chimiquement avant examen pour éliminer les traces d'enrobage et les fragments de roches.

La méthode de réplique est celle utilisant le vernis nitrocellulosique décrite par Jacquet et al. ([1]), ([2]), employée maintenant de façon courante, notamment en fractographie. La courbure des grains étudiés se trouvant trop forte pour qu'une réplique de 1 à 2/10e de millimètre d'épaisseur (ce qui est la valeur la plus favorable à sa formation et à son décollement) puisse être ultérieurement aplatie et examinée par réflexion ou par transparence à un grossissement supérieur à 200, on a dû procéder par découpage *in situ* avant décollage, à l'aide d'un bistouri de chirurgien, de fragments quasi plats de la réplique, correspondant aux zones à étudier. Cette manipulation s'effectue sous la loupe binoculaire grossissant 20 ou 30 fois. Dans ces conditions on parvient à isoler des surfaces n'ayant que 1/100e de millimètre carré (soit, 0,1 mm de côté), qu'il faut transporter et coller à l'envers sur le plan d'examen.

De façon générale les empreintes obtenues peuvent être examinées par transparence (à faible grossissement) ou par réflexion après métallisation à l'aluminium. Dans ce dernier cas, les méthodes de contraste interférentiel (Nomarski), d'interférométrie, d'éclairage oblique, ont été pratiquées. D'autre part, un certain nombre de répliques ont été réservées aux fins d'examen en microscopie électronique, par la méthode de la double empreinte vernis/carbone.

Sur toutes les surfaces des monocristaux ayant « travaillé », que nous avons eu l'occasion d'examiner, nous avons ainsi observé trois types principaux d'accidents très caractéristiques :

A. Des fêlures (lignes très fines) (*fig.* 1) traversent complètement la surface des grains ou s'évanouissent après un certain parcours; deux

telles lignes peuvent se couper; elles constituent des failles séparant deux zones de niveaux différant d'une fraction de micron à quelques microns. Elles ne paraissent pas présenter d'orientation cristallographique définie et comportent d'ailleurs de nombreuses parties courbes.

Fig. 1 à 4. — Accidents superficiels typiques
observés sur les faces de travail de quelques diamants de forage.

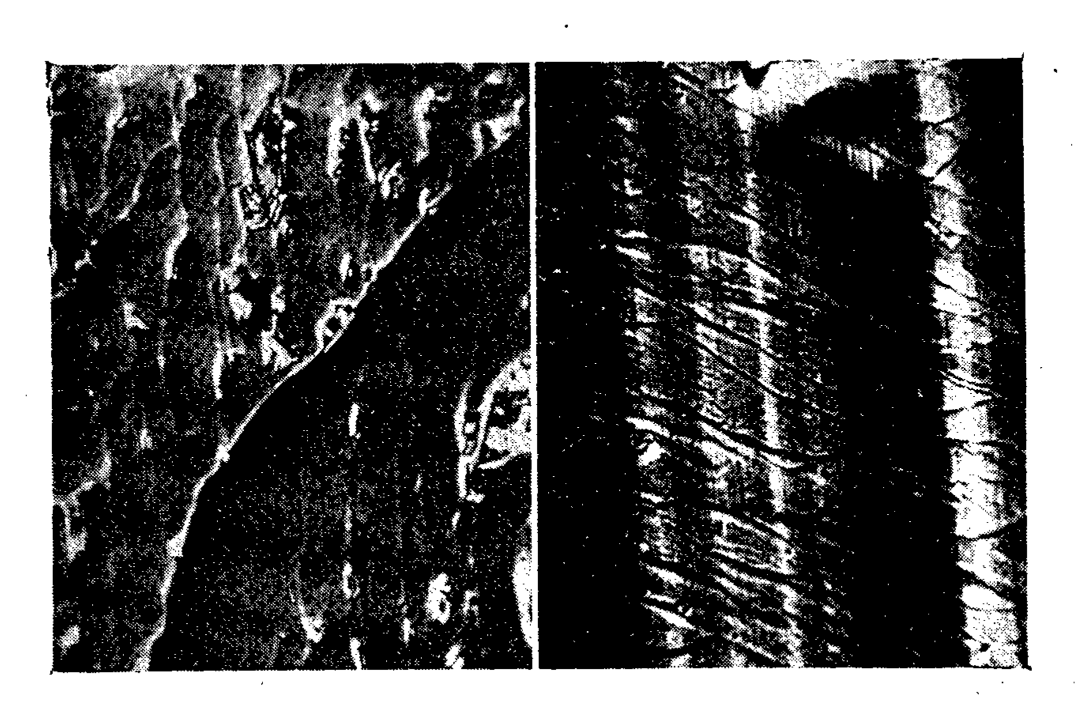


Fig. 1. Fig. 2.
Fig. 1. — Fine fêlure transversale. (G × 500.)
Fig. 2. — Gradins parallèles. (G × 400.)

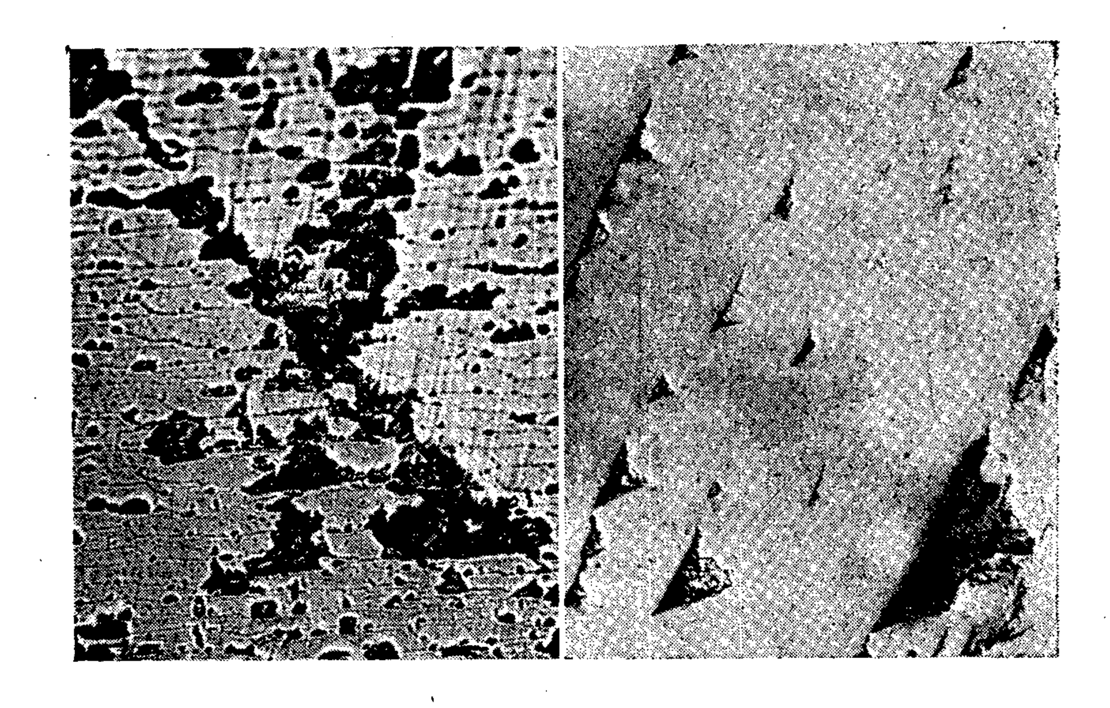


Fig. 3. Fig. 4.
Fig. 3. — Petites cavités généralisées. (G × 200.)
Fig. 4. — Détail des cavités du piquetage. Micrographie électronique. (G × 2 000.)

B. A un grossissement suffisant (et surtout en contraste interférentiel) on observe un réseau de lignes un peu floues (*fig.* 2) espacées de quelques microns en moyenne, et grossièrement parallèles à une même direction de chaque surface toujours fortement inclinée sur la direction de travail. Elles comportent fréquemment des décrochements ou des ramifications suivant une deuxième direction et constituent alors une sorte de réseau alvéolé. La détermination de l'orientation cristallographique de ces lignes n'a pas été effectuée dans le cas général. Elle a toutefois pu être établie

par simple observation optique dans le cas particulier d'un grain où subsistait, intacte, une face octaédrique naturelle [plan (111)] portant un trigone très apparent. Une des facettes d'usure était aussi sensiblement un plan (111), et la direction correspondante, très bien marquée perpendiculairement à la direction de travail, était parallèle à un côté du trigone. Il s'agissait donc d'une direction $(1\bar{1}0)$, intersection avec la face considérée, d'un des plans de clivage $(11\bar{1})$ du monocristal.

Par ailleurs, l'examen en éclairage oblique et par interférométrie a indiqué dans tous les cas qu'il s'agissait de gradins plus ou moins inclinés, d'une hauteur de l'ordre de quelques centièmes de micron en moyenne.

C. Sur les faces exposées à l'abrasion par la roche, on a observé un piquetage de la surface (*fig.* 3), résoluble en petites cavités, approximativement tétraédriques dans le cas particulier montré sur la figure 4, ou de forme plus complexe. Un de leurs bords est toujours exactement placé sur une des lignes du réseau décrit plus haut, le reste du puits étant situé du côté opposé à la roche avançante, c'est-à-dire dans le sens de l'abrasion. Certains puits sont prolongés, dans ce même sens, par des « comètes » ou sillons flous rectilignes d'une certaine longueur qui matérialisent la direction et le sens du travail.

La présence de certaines structures assez analogues à celles décrites ci-dessus (§ B) a été signalée dans le passé, notamment par Tolansky [2] sur les faces de cristaux naturels ou taillés, et tout récemment encore par Wentorf [3] sur des faces cubiques systématiquement rayées au diamant. Pour interpréter les résultats de ses expériences, Wentorf invoque le mécanisme de rupture en tension suivant les plans de clivage du diamant (ou faces de l'octaèdre). Bien que les quelques observations décrites ci-dessus tendent également à faire jouer aux plans (111) un rôle prédominant, le seul examen d'un trépan de forage usagé, auquel nous avons procédé, ne permet pas de conclure qu'il s'agit bien ici de l'intervention du même mécanisme. De toute façon, c'est la première fois, à notre connaissance, que des observations ont pu être méthodiquement faites à pareil grossissement sur des grains très petits et de forme quelconque, parties constitutives d'outils en service réel. Nous nous proposons, dans des études systématiques sur l'usure, de mettre à profit cette méthode non destructive très simple. Elle se distingue par une très grande sensibilité à toute modification éventuelle de la surface de l'outil par le frottement et les chocs au cours du travail, et permet de suivre aisément l'évolution locale des phénomènes.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) A. VAN EFFENTERRE, P. A. JACQUET et E. MENCARELLI, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2355.

(2) P. A. JACQUET et A. VAN EFFENTERRE, *Rev. Métall.*, 54, 1957, p. 107.

(3) TOLANSKY, *The Microstructures of Diamond Surfaces*, Londres, 1955.

(4) WENTORF, *J. Appl. Phys.*, 11 novembre 1959, p. 1766.

PHYSIQUE SOLAIRE. — *Observations simultanées du champ magnétique et du champ des vitesses dans un grand groupe de taches solaires.* Note (*) de M. **Meyr Semel**, présentée par M. André Danjon.

Des observations simultanées du champ magnétique et du champ des vitesses pour divers groupes de taches solaires ont été faites avec le spectrographe de 9 m installé au Pic du Midi. Les résultats obtenus pour un grand groupe actif sont décrits et les relations possibles entre les deux champs sont discutées.

Les mouvements de matière dans les taches unipolaires simples (effet Evershed) ont été souvent étudiés. Quant aux champs magnétiques, ils entrent presque dans le domaine des observations de routine. Mais l'examen détaillé des complexités du champ de vitesses dans les grands groupes actifs, et de ses relations possibles avec le champ magnétique, n'a pas encore été entrepris. Il semble pourtant que de telles observations combinées sont nécessaires pour comprendre la dynamique des groupes de taches.

a. Observations. — Devant la fente du spectrographe est placé un analyseur de polarisation circulaire comprenant des bandes perpendiculaires à la fente : une bande transmet la vibration droite, la suivante la vibration gauche et ainsi de suite. Ce dispositif est classique; dans notre cas, les bandes ont seulement 0,4 mm de largeur soit 3″,8 sur le Soleil. Une lame analogue permet l'analyse de la polarisation rectiligne.

Les observations comportent deux séquences d'une centaine de spectres de la raie 6302,508 de Fe I ($g = 5/2$), obtenues chacune avec l'une des deux lames d'analyse. Ces spectres couvrent pratiquement toute la surface du groupe étudié car le déplacement de l'image entre deux spectres est 2″,4. Cette technique de « balayage spectroscopique » a été décrite par G. Laborde, R. Michard et R. Servajean (1). Une observation complète demande 200 s pour chaque séquence.

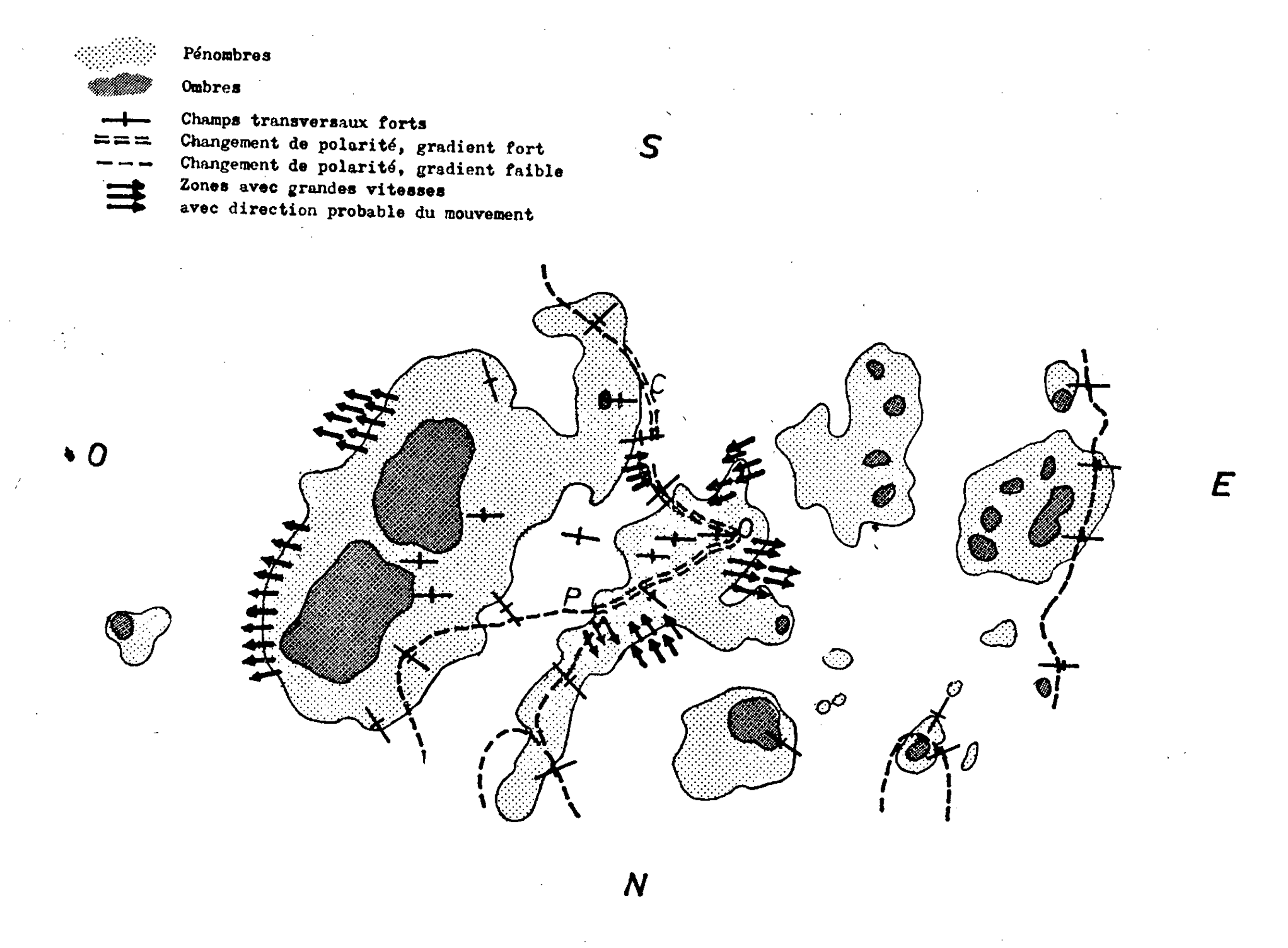
b. Mesure des spectres. — Les mesures sont faites essentiellement sur la séquence prise avec l'analyseur de polarisation circulaire, et portent sur la longueur d'onde de la raie dans chaque bande et pour chaque spectre, soit plus de 4 000 points de la surface du groupe de taches.

Pour déterminer la longueur d'onde nous faisons deux *enregistrements microphotométriques parallèles à la raie*, l'un sur son aile rouge, l'autre sur son aile violette. Soit δ_n la différence des densités du film dans les deux ailes pour la bande n; δ_n est évidemment une mesure de la position de la raie par rapport à l'axe de symétrie des deux enregistrements : celui-ci est, autant que possible, l'axe de symétrie moyen de la raie, pris sur toute la hauteur du spectre. La relation entre δ et le déplacement $\Delta\lambda$ de la raie s'obtient à l'aide de paires d'enregistrements auxiliaires dont l'axe est décalé de quantités connues. Cette relation est linéaire jusqu'à $\Delta\lambda = \pm 43$ mÅ.

La quantité δ_n ayant été mesurée pour les bandes 1, 2, ..., $n-1$, n, ...

d'un spectre, nous prenons comme mesure de l'effet Zeeman au point moyen séparant les bandes $n - 1$ et n la grandeur $Z = \delta_n - \delta_{n-1}$. C'est l'écart des deux composantes σ dans le cas d'un champ longitudinal; d'une manière générale on détermine ainsi la composante du champ H sur la ligne de visée (si le champ n'est pas trop fort). La mesure de l'effet Doppler au même point, est $D = 1/2 (\delta_n + \delta_{n-1})$.

A l'aide des 4 000 mesures de Z et D ainsi obtenues, nous avons tracé les courbes d' « isogauss » et d'égales vitesses. Insistons toutefois sur le fait qu'il ne s'agit que de composantes du champ magnétique et de la vitesse sur la ligne de visée.



D'autre part, par examen direct des spectres des deux séquences (polarisation rectiligne et circulaire), nous avons déterminé les régions où existe un fort champ magnétique transversal et l'orientation approximative du plan contenant le champ et la ligne de visée.

c. Résultats. — Nous décrivons les résultats obtenus pour un grand groupe bipolaire observé le 28 novembre 1959 à 12 h 00 m T. U., coordonnées 8 N, 40 E. L'ensemble des mesures et données obtenues ne peut être rassemblé de manière lisible, que sur deux ou trois cartes à grande échelle qui ne peuvent être reproduites ici. Nous nous bornons donc à une description générale illustrée par un croquis qualitatif (*figure*).

1° Le groupe est essentiellement bipolaire, les deux régions de polarités opposées étant séparées par une ligne C. O. P. en forme d'éperon. Les autres lignes de changement apparent de polarité doivent sans doute résulter de variations purement perspectives, l'angle du champ avec la

ligne de visée passant par la valeur 90°. Sur toutes les zones de changement de polarité existe un fort champ transversal : il n'y a donc pas à proprement parler de « ligne neutre » (ligne de champ nul). Les champs transversaux demeurent en gros perpendiculaires aux lignes de changement de polarité.

2° Un champ très complexe de vitesses radiales importantes occupe presque toute la région tachée. Ce n'est qu'autour d'une partie de la grande tache de tête que ce champ rappelle un peu la configuration simple trouvée pour les taches unipolaires, mais il s'en distingue par une forte asymétrie entraînant une déformation rapide de la tache.

3° La zone de polarité N semble « pénétrer » la zone S à la pointe O de l'éperon; la configuration des vitesses radiales autour de O suggère aussi une pénétration. Supposant les mouvements essentiellement horizontaux, le point O s'enfonce dans la zone opposée avec une vitesse ≥ 2 km/s. Il existe un système de courants matériels dans cette région, qui, s'ils entraînent le champ, produiront des changements rapides de sa configuration.

4° Il semble que d'une manière générale, autour de chaque tache, les vitesses radiales d'un certain signe dominent, et sont opposées pour deux taches voisines; ce qui traduit des déplacements relatifs des taches.

On ne pouvait s'attendre à trouver dès l'abord des relations nettes entre champs magnétiques et mouvements, d'autant qu'on ne mesure que la composante radiale de ceux-ci. Il semble donc nécessaire de poursuivre ce genre d'observations, en les complétant par des mesures des mouvements relatifs des taches à l'aide de photographies à grande échelle.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) G. LABORDE, R. MICHARD et R. SERVAJEAN, *Ann. Astrophys.*, 20, 1957, p. 209-221.

RELATIVITÉ. — *Sur une nouvelle forme des identités de conservation en théorie unitaire.* Note de M. **S. Kichenassamy**, présentée par M. Louis de Broglie.

On forme les identités de conservation de la théorie unitaire sans faire appel aux équations de liaison.

1. Quand les équations du champ sont formées par un procédé variationnel portant sur une densité scalaire $\mathcal{L}$, on sait qu'à l'invariance de l'intégrale $\int_D \mathcal{L} d\tau$ par rapport à un groupe déterminé de transformations correspond un système d'identités de conservation (théorèmes de Nœther).

De telles identités ont été obtenues en Relativité générale et en théorie unitaire, suivant un principe dû à H. Weyl, procédé qui consiste à exprimer l'invariance de l'intégrale d'action par le groupe des transformations de coordonnées. Toutefois, ces identités sont obtenues en théorie unitaire, moyennant l'emploi des équations de liaison. Nous nous proposons ici de donner une expression nouvelle de ces identités, sans faire appel à de telles équations de liaison, dans le cadre de la théorie unitaire récemment envisagée par M.-A. Tonnelat [1]. Il est clair que ces considérations s'appliquent à toute autre théorie unitaire.

2. Étant donnés sur la variété espace-temps V_4 un champ de tenseurs $g_{\alpha\beta}$, une connexion affine $L^{\lambda}_{\mu\nu}$ à vecteur de torsion L_σ nul et un champ de vecteurs Γ_ρ, les équations du champ sont obtenues par application d'un principe variationnel à la densité scalaire :

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2, \tag{2.1}$$

$$\mathcal{L}_0 = \mathcal{G}^{\alpha\beta} K_{\alpha\beta}, \qquad \mathcal{L}_1 = \alpha^\sigma L_\sigma, \qquad \mathcal{L}_2 = \lambda(\mathcal{G}^{\alpha\beta}\Gamma_\alpha\Gamma_\beta - \chi^2\sqrt{-g}), \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned} K_{\alpha\beta} = W_{\alpha\beta} &+ \alpha\left(\partial_\alpha L^{\sigma}_{\underline{\beta\sigma}} - \partial_\beta L^{\sigma}_{\underline{\alpha\sigma}}\right) + q(\partial_\alpha\Gamma_\beta - \partial_\beta\Gamma_\alpha) \\ &+ \beta(\partial_\alpha\Gamma_\beta + \partial_\beta\Gamma_\alpha - 2L^{\tau}_{\alpha\beta}\Gamma_\tau) + p\Gamma_\alpha\Gamma_\beta, \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$W_{\alpha\beta} = \partial_\sigma L^{\sigma}_{\alpha\beta} - \partial_\beta L^{\sigma}_{\alpha\sigma} + L^{\tau}_{\alpha\beta} L^{\sigma}_{\tau\sigma} - L^{\tau}_{\alpha\sigma} L^{\sigma}_{\tau\beta}; \tag{2.4}$$

$K_{\alpha\beta}$ est la traduction en notations $L^{\sigma}_{\alpha\beta}$ ($L_\sigma = 0$), Γ_α de la fonction généralisée proposée en (1).

Désignons par $\Pi^{\mu\nu}_{\lambda}$, Σ^α et $K_{\alpha\beta}$ les équations d'Euler correspondant à $L^{\lambda}_{\mu\nu}$, Γ_λ et $\mathcal{G}^{\alpha\beta}$. Les équations de liaison sont :

$$\begin{aligned} D_\lambda \mathcal{G}^{\underset{+}{\mu}\underset{-}{\nu}} = \frac{2}{3}\delta^{\mu}_{\lambda}\partial_\tau \mathcal{G}^{\tau\nu}_{\vee} &+ \frac{2\alpha}{3}\left(\delta^{\mu}_{\lambda}\partial_\tau\mathcal{G}^{\tau\nu}_{\vee} + \delta^{\nu}_{\lambda}\partial_\tau\mathcal{G}^{\tau\mu}_{\vee}\right) \\ &+ \frac{2\beta}{3}\left(\delta^{\mu}_{\lambda}\mathcal{G}^{\sigma\nu} + \delta^{\nu}_{\lambda}\mathcal{G}^{\mu\sigma}\right)\Gamma_\sigma - 2\beta\,\mathcal{G}^{\mu\nu}\Gamma_\lambda, \end{aligned} \tag{2.5}$$

$$\left(p + \lambda - \frac{4\beta^2}{3}\right)\mathcal{G}^{\underline{\lambda\sigma}}\Gamma_\sigma - \left[q + \frac{5\beta}{3}(1 + 2\alpha)\right]\partial_\sigma \mathcal{G}^{\sigma\lambda}_{\vee} = 0. \tag{2.6}$$

et les équations d'évolution :

$$K'_{\alpha\beta} = K_{\alpha\beta} + \lambda\left(\Gamma_\alpha\Gamma_\beta - \frac{\chi^2}{2} g_{\alpha\beta}\right) = 0. \tag{2.7}$$

3. Les identités de conservation peuvent être obtenues en exprimant que l'intégrale $I = \int_D \mathcal{L}\, d\tau$ est invariante par un champ de vecteurs arbitraires ξ^ρ nuls au bord du domaine d'intégration. On aura donc

$$\delta I = 0, \tag{3.1}$$

en convenant de noter par δ la dérivée de Lie par $\vec{\xi}$.

Le calcul de δI se fait aisément, compte tenu des dérivées de Lie des variables de champ introduites :

$$\delta\mathcal{G}^{\alpha\beta} = \xi^\sigma \partial_\sigma \mathcal{G}^{\alpha\beta} + \mathcal{G}^{\alpha\beta}\partial_\sigma\xi^\sigma - \mathcal{G}^{\alpha\sigma}\partial_\sigma\xi^\beta - \mathcal{G}^{\sigma\beta}\partial_\sigma\xi^\alpha, \tag{3.2}$$

$$\delta\Gamma_\lambda = \xi^\sigma\partial_\sigma\Gamma_\lambda + \Gamma_\sigma\partial_\lambda\xi^\sigma, \tag{3.3}$$

$$\delta L^\lambda_{\mu\nu} = \xi^\sigma\partial_\sigma L^\lambda_{\mu\nu} - L^\sigma_{\mu\nu}\partial_\sigma\xi^\lambda + L^\lambda_{\sigma\nu}\partial_\mu\xi^\sigma + L^\lambda_{\mu\sigma}\partial_\nu\xi^\sigma + \partial_\mu\partial_\nu\xi^\lambda. \tag{3.4}$$

On obtient

$$\delta I = \int_D \xi^\sigma\partial_\lambda(\mathcal{A}^\lambda{}_\sigma + \mathcal{B}^\lambda{}_\sigma) + \partial_\lambda\mathcal{C}^\lambda, \tag{3.5}$$

$$\mathcal{A}^\lambda{}_\sigma = \delta^\lambda{}_\sigma(\mathcal{L} - \mathcal{G}^{\alpha\beta}K'_{\alpha\beta}) + \mathcal{G}^{\alpha\lambda}K'_{\alpha\sigma} + \mathcal{G}^{\lambda\alpha}K'_{\sigma\alpha} - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\lambda L^\rho_{\mu\nu})}\partial_\sigma L^\rho_{\mu\nu} - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\lambda\Gamma_\rho)}\partial_\sigma\Gamma_\rho, \tag{3.6}$$

$$\mathcal{B}^\lambda{}_\sigma = \Pi^{\mu\nu}_\sigma L^\lambda_{\mu\nu} - \Pi^{\mu\lambda}_\nu L^\nu_{\mu\sigma} - \Pi^{\lambda\nu}_\mu L^\mu_{\sigma\nu} + \partial_\mu\Pi^{\lambda\mu}_\sigma - \Sigma^\lambda\Gamma_\sigma, \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{C}^\lambda = \xi^\sigma\big(&\Pi^{\alpha\lambda}_\tau L^\tau_{\alpha\sigma} + \Pi^{\lambda\alpha}_\tau L^\tau_{\sigma\alpha} - \Pi^{\alpha\beta}_\sigma L^\lambda_{\alpha\beta} + \partial_\alpha\Pi^{\alpha\lambda}_\sigma + \Sigma^\lambda\Gamma_\sigma - K'_{\alpha\sigma}\mathcal{G}^{\alpha\lambda} - K'_{\sigma\alpha}\mathcal{G}^{\lambda\alpha} + K'_{\alpha\beta}\mathcal{G}^{\alpha\beta}\partial^\lambda_\sigma\big)\\ &- \partial_\alpha(\Pi^{\alpha\lambda}_\sigma\xi^\sigma) + \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial_\lambda L^\rho_{\mu\nu}}\delta L^\rho_{\mu\nu} + \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial_\lambda\Gamma_\rho}\delta\Gamma_\rho.\end{aligned} \tag{3.8}$$

On en tire, d'après des raisonnements classiques, les identités

$$\boxed{\partial_\lambda(\mathcal{A}^\lambda{}_\sigma + \mathcal{B}^\lambda{}_\sigma) \equiv 0.} \tag{3.9}$$

Il est clair que ces identités ne font pas intervenir les équations de liaison.

4. En portant les équations de liaison (2.5) et (2.6) dans (3.9), on obtient

$$\begin{aligned}&\partial_\lambda(\mathcal{G}^{\alpha\lambda}W_{\alpha\sigma} + \mathcal{G}^{\lambda\alpha}W_{\sigma\alpha}) - \mathcal{G}^{\alpha\beta}\partial_\sigma W_{\alpha\beta} + 2\alpha\,\partial_\tau\mathcal{G}^{\overset{\alpha\tau}{\vee}}\big(\partial_\alpha L^\tau_{\underline{\sigma\tau}} - \partial_\sigma L^\tau_{\underline{\alpha\tau}}\big)\\ &\quad - 2\beta\,\{\partial_\lambda[(\mathcal{G}^{\alpha\lambda}L^\tau_{\alpha\sigma} + \mathcal{G}^{\lambda\alpha}L^\tau_{\sigma\alpha})\Gamma_\tau] - \mathcal{G}^{\alpha\beta}\Gamma_\tau\partial_\sigma L^\tau_{\alpha\beta}\}\\ &\quad + 2\beta\left\{\left[\partial_\tau\mathcal{G}^{\underline{\alpha\tau}} + \frac{5}{3}(1 + 2\alpha)\,\partial_\tau\mathcal{G}^{\overset{\tau\alpha}{\vee}} + \frac{4\beta}{3}\mathcal{G}^{\underline{\alpha\tau}}\Gamma_\tau\right]\partial_\alpha\Gamma_\sigma + \mathcal{G}^{\underline{\alpha\beta}}\partial_\alpha\partial_\beta\Gamma_\sigma\right\} \equiv 0.\end{aligned} \tag{4.1}$$

Telles sont les identités de conservation qu'on obtiendrait dans cette théorie en appliquant la méthode de Weyl développée par A. Lichnerowicz ([2]) et E. Schrödinger ([3]), ou en utilisant les identités de Bianchi selon une technique due à S. Mavridès ([4]).

Remarque. — (4.1) fournit les identités de conservation :

(i) de la théorie d'Einstein-Schrödinger lorsque $q = 2/3$, $\alpha = p = \beta = 0$;

(ii) de la théorie de L. Bouche (5) lorsque $\alpha = \beta = 0$;

(iii) de la théorie de Chau (6) lorsque $\beta = 0$.

Ainsi, la méthode que nous indiquons au paragraphe 3, tout en redonnant les résultats classiques, offre l'avantage de ne pas utiliser *a priori* les équations de liaison.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2327.
(2) *Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme*, Paris, 1955.
(3) *Proc. Roy. Ir. Ac.*, A, 52, 1948, p. 1.
(4) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2482.
(5) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3784.
(6) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3579.

RELATIVITÉ. — *Espaces-temps du type III de Petrov.* Note (*) de M. **Robert Debever**, transmise par M. Frans Van den Dungen.

Nous déterminons des variétés espaces-temps dans le cas où il existe un champ électromagnétique singulier et dans le cas du vide gravitationnel, qui sont du type III de Petrov.

V_4 désigne une variété espaces-temps de la Relativité générale, $C_{\alpha\beta\lambda\mu}$ (1) sont les composantes, en coordonnées locales, du tenseur de courbure conforme de Weyl, l^α celles d'un vecteur isotrope, $a_{\alpha\beta}$ celles d'une 2-forme alternée singulière pour l^α ($a_{\alpha\beta}\, l^\beta = \star\, a_{\alpha\beta}\, l^\beta = 0$, $\star\, a_{\alpha\beta}$ étant les composantes du tenseur adjoint de $a_{\alpha\beta}$ pour la métrique de V_4).

Par définition V_4 est, localement, du type III de Petrov, si l'on a

$$C_{\alpha\beta\lambda\mu}\, l^\mu = a_{\alpha\beta}\, l_\lambda, \tag{1}$$

en particulier, l'espace-temps est du type II *b* de Petrov si $a_{\alpha\beta} = 0$ (2).

Nous nous proposons d'étudier les métriques de la forme

$$ds^2 = e^{2\alpha}((dx^2)^2 + (dx^3)^2) + 2\, dx^4 (dx^1 + C\, dx^4), \tag{2}$$

où α est une fonction des variables x^2, x^3, x^4 et C une fonction des x^β. Les espaces-temps correspondants jouissent de la propriété suivante : les vecteurs l^α de composantes (1, 0, 0, 0) définissent un champ de vecteurs isotropes parallèles. Si D est l'opérateur de la différentielle absolue, on a

$$Dl^\alpha = \varphi\, l^\alpha, \qquad \text{où} \quad \varphi = \partial_1 C\, dx^4. \tag{3}$$

Le champ l^α étant défini à un facteur scalaire près, pour qu'il existe λ tel que $\lambda\, l^\alpha$ soit à différentielle absolue nulle il faut et il suffit que $d\varphi = 0$.

Si θ^α désignent les 1-formes d'un corepère associé à un repère orthonormé, la forme de courbure de la connexion riemannienne a pour composantes

$$\left\{\begin{aligned} \Omega_{12} = \Omega_{24} &= (\theta^1 - \theta^4) \wedge (\alpha_{33}\theta^2 - \alpha_{23}\theta^3) + \alpha_{13}\theta^2 \wedge \theta^3 + \gamma_{12}\theta^1 \wedge \theta^4, \\ \Omega_{31} = \Omega_{43} &= (\theta^1 - \theta^4) \wedge (\alpha_{23}\theta^2 - \alpha_{22}\theta^3) + \alpha_{12}\theta^2 \wedge \theta^3 - \gamma_{13}\theta^1 \wedge \theta^4, \\ \Omega_{23} &= (\theta^1 - \theta^4) \wedge (\alpha_{13}\theta^2 - \alpha_{12}\theta^3) + \alpha_{11}\theta^2 \wedge \theta^3, \\ \Omega_{14} &= (\theta^1 - \theta^4) \wedge (\gamma_{12}\theta^2 + \gamma_{13}\theta^3) + \gamma_{11}\theta^1 \wedge \theta^4. \end{aligned}\right. \tag{4}$$

La courbure scalaire est nulle si

$$\alpha_{11} = \gamma_{11}. \tag{5}$$

Dans ce cas les espaces-temps V_4 *sont du type III.* Dans le repère orthonormé utilisé, les composantes de l^α sont (1, 0, 0, 1) et celles de $a_{\alpha\beta}$ sont dans l'ordre 23, 31, 12, 14, 24, 34 :

$$a_{\alpha\beta} = (0,\ \gamma_{12} - \alpha_{12},\ \gamma_{13} - \alpha_{13},\ 0,\ \gamma_{13} - \alpha_{13},\ \alpha_{12} - \gamma_{12}). \tag{6}$$

Pour que les espaces-temps considérés puissent être associés à un champ

électromagnétique il est nécessaire ([3]), outre (5), que

$$2\alpha_{11}(\alpha_{22}+\alpha_{33}) = (\alpha_{12}+\gamma_{12})^2 + (\alpha_{13}+\gamma_{13})^2. \tag{7}$$

En particulier, pour qu'il existe *un champ électromagnétique singulier* on doit satisfaire aux équations

$$\gamma_{11} = \alpha_{11} = \alpha_{12}+\gamma_{12} = \alpha_{13}+\gamma_{13} = 0. \tag{8}$$

La première équation (8) a pour solution

$$C = x^1 X + Y, \tag{9}$$

où X et Y sont des fonctions arbitraires de x^2, x^3, x^4.

La seconde équation (8) s'écrit

$$\partial^2_{22}\alpha + \partial^2_{33}\alpha = 0. \tag{10}$$

La troisième et la quatrième équation (8) sont satisfaites si

$$\partial_1 C = X = \partial_4 \alpha. \tag{11}$$

Le champ associé à la 2-forme F, singulière pour l^α, où γ est une fonction de x^4 et β une fonction de x^2, x^3, x^4 :

$$F = \gamma(\cos\beta\,\theta^2 + \sin\beta\,\theta^3) \wedge (\theta^1 - \theta^4) \tag{12}$$

vérifie les équations de Maxwell si

$$\partial_2\beta = \partial_3\alpha, \qquad \partial_3\beta = -\partial_2\alpha. \tag{13}$$

Soit $z = x^2 + ix^3$, si $Z(z, x^4)$ est une fonction holomorphe de z, en prenant $\beta = \mathcal{R}Z$ et $\alpha = \mathcal{I}Z$, respectivement partie réelle et partie imaginaire de Z, on satisfait aux équations (10) et (13).

Pour satisfaire aux équation d'Einstein, il suffit que $\alpha_{22}+\alpha_{33}$ soit fonction de x^4 seulement. Grâce à (9) et (10),

$$e^{2\alpha}(\alpha_{22}+\alpha_{33}) = \partial^2_{22}Y + \partial^2_{33}Y + \partial^2_{44}(e^{2\alpha}). \tag{14}$$

Enfin on obtient une *métrique du vide gravitationnel* si

$$\alpha_{22}+\alpha_{33} = 0. \tag{15}$$

On peut donc par (10) et (15) et un choix de conditions aux limites, déterminer des métriques du vide de type III.

Les espaces-temps envisagés sont en outre de type II *b* si $\partial_4\alpha$ ne dépend pas de x^2, x^3, c'est-à-dire si $d\varphi = 0$ ([4]).

La solution connue, correspondant à $\alpha = 0$, est de ce type ([5]).

Remarquons enfin que même dans le vide, le champ associé à F vérifie les équations de Maxwell.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

([1]) Les indices grecs α, β, ... prennent les valeurs 1, 2, 3, 4.

([2]) R. Debever, *Bull. Soc. math. Belgique*, 10, 1958, p. 112.

([3]) Ch. W. Missner et J. A. Wheeler, *Ann. Phys.*, 2, 1957, p. 525.

([4]) R. K. Sachs, *Z. Phys.*, 157, 1960, p. 462.

([5]) A. Peres, *Phys. Rev.*, 118, 1960, p. 1110; R. Debever et M. Cahen, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1160.

THERMOCINÉTIQUE. — *A propos du calcul des phénomènes thermocinétiques brefs.* Note de M. **Pierre Vernotte**, présentée par M. Gustave Ribaud.

On sait que les phénomènes transitoires, en milieu limité, quand ils ne dépendent que d'une seule variable géométrique, peuvent toujours être résolus par le développement de Fourier, pourvu que les conditions aux limites soient linéaires et que les propriétés physiques ne dépendent pas de la température. Seulement, bien que les méthodes gardent un caractère élémentaire, les calculs pratiques peuvent devenir bien vite extraordinairement pénibles. En milieu illimité, on ne possède pas de méthode aussi générale, mais il arrive que des stylisations, alors plus aisées, permettent d'aborder des problèmes même non linéaires. Or, dans les phénomènes transitoires brefs — sur l'intérêt extrême desquels nous avons souvent insisté — le milieu limité peut être traité comme illimité.

C'est ainsi que, dans une Note antérieure (1), nous avions esquissé l'étude de l'un des aspects thermiques du problème de la rentrée d'un engin dans l'atmosphère, la difficulté soulevée tenant à l'énormité du champ thermique parcouru, laquelle entraîne, pour les propriétés physiques, une variation si considérable qu'elle exclut tout caractère linéaire des équations. La résolution fait un grand pas quand une stylisation permet, comme ici, d'expliciter les conditions aux limites au moyen d'une seule variable, ce qui ramène l'équation aux dérivées partielles à une équation simplement différentielle du second ordre non linéaire. Il faut d'ailleurs reconnaître que, quand on ne dispose pas d'une grande machine électronique moderne, c'est seulement, d'ordinaire, par un moyen de cette sorte, que les problèmes difficiles sont approximativement résolus. Ici, on combine la variable géométrique x et le temps t dans l'argument $u = x/\sqrt{t}$ et, avec quelques normalisations complémentaires, on arrive à l'équation différentielle $\psi\psi_{uu} + 2u\psi_u = 0$, les conditions aux limites étant $\psi = \alpha < 1$ pour $u = 0$ ($x = 0$ quel que soit t) et $\psi = 1$ pour $u = \infty$ ($t = 0$ quel que soit x). Il subsiste un problème parce qu'il faut raccorder une condition à l'infini et une condition à l'origine.

Nous avons exposé (*loc. cit.*) que nos procédures relatives aux séries divergentes conduisaient à la solution, cherchée sous forme d'une série entière $\alpha + \sum_{1}^{\infty} (-1)^n m_n u^n$, les m étant connus par calcul direct en fonction de l'un d'eux, m_1, qu'on déterminera par la condition que la série ψ prenne alors à l'infini la valeur 1. D'après nos résultats, cela implique que *l'extrapolé* m_0 des m_n à $n = 0$ vaille $\alpha - 1$, et il suffira de choisir par tâtonnement m_1 pour que le m_0 correspondant ait justement cette valeur.

Or, nous avions remarqué que, ψ ayant vers l'infini une allure du type e^{-u^2},

son développement asymptotique suivant les puissances négatives de u était identiquement nul; et les coefficients de ce développement étant justement les m d'indice négatif, nous possédions pour le calcul, autrement fort délicat, de m_0, ce renseignement complémentaire essentiel que m_0 devenait *l'interpolé* entre les donneés ..., m_4, m_3, m_2, m_1, et une suite de zéros. Nous avions tiré parti de ce fait par un procédé barbare, en stylisant m_n sous la forme du produit de quelques facteurs $(n+p)$, p étant entier > 0, par un polynome en n de faible degré. Nous apportons aujourd'hui un progrès substantiel en opérant de la façon suivante.

On considérera m_0 comme la valeur, pour $z = p + 0,5$, d'une fonction définie pour les abscisses entières 0, 1, 2, ..., p, $p+1$, $p+2$, ..., obtenues en prélevant une abscisse sur deux dans la suite naturelle des indices des m_n :

$$\underline{-2p-1},\quad -2p,\quad \underline{-2p+1},\quad -2p+2,$$
$$\underline{-2p+3},\quad \ldots,\quad \underline{-3},\ -2,\quad \underline{-1},\quad 0,\quad \underline{1},\quad 2,\quad \underline{3},\quad 4,\quad \underline{5},\quad \ldots.$$

On calculera donc l'interpolé m_0 à partir de $(p+1)$ données nulles, puis des valeurs m_1, m_3, m_5, m_7, ..., au moyen de la série d'interpolation de Newton (qui réalise ce que nous avons appelé interpolation *idéale*), laquelle donne alors

$$m_0 = \frac{1.3.5\ldots(2p+1)}{2.4.6\ldots(2p)} \times \sum_{r=1}^{r=\infty} \frac{1.3.5\ldots(2r-1)}{(2p+2)(2p+4)\ldots(2p+2r+2)} \left(C_{p+r+1}^{r} m_1 - C_{p+r+1}^{r-1} m_3 + \ldots \pm m_{2r+1}\right).$$

La quantité sous le signe $\sum$ s'écrit, en posant

$$\frac{q!\, m_{2q+1}}{(p+1)(p+2)\ldots(p+q+1)} = M_{q+1},$$
$$\frac{1.3.5\ldots(2r-1)}{2^r r!} \left(M_0 - C_r^1 M_1 + C_r^2 M_2 - \ldots \pm M_{r+1}\right).$$

On a, dans la parenthèse, au signe près, la différence d'ordre r des quantités M, de variation beaucoup plus douce que les m. Si p est bien choisi, la série m_0 est effectivement calculable.

(1) *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 378.

MAGNÉTISME. — *Effets de dimension et de couplage pour les modes magnétostatiques circulairement polarisés dans le cas d'une petite sphère de ferrite.* Note (*) de M. **René Plumier**, présentée par M. Francis Perrin.

L'introduction du courant de déplacement de Maxwell entraîne deux corrections aux résultats obtenus à l'approximation magnétostatique pour les modes magnétostatiques de résonance ferrimagnétique. Ces deux corrections, déplacement de fréquence et couplage entre modes, sont examinées ci-après pour les modes du type $(n, n, 0)$ et $(n, n-1, 0)$.

On appelle modes circulairement polarisés les modes magnétostatiques d'indices $(n, n, 0)$ et $(n, n-1, 0)$ dans la notation de Walker [1]. A l'intérieur du spécimen on a, pour les modes circulairement polarisés, les expressions suivantes pour les potentiels magnétostatiques, champs et aimantations :

a. Cas $(n, n, 0)$: $\psi = ch_{n,n} r^n Y_n^n$:

$$h_x = cn(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-1}, \qquad 4\pi m_x = c(k+\nu)n(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-1},$$
$$h_y = icn(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-1}, \qquad 4\pi m_y = ic(k+\nu)n(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-1},$$
$$h_z = 0, \qquad 4\pi m_z = 0;$$

avec

$$c = \frac{(2n+1)h_{n,n}}{2n+1+n(k+\nu)}, \qquad k = 4\pi M_0 \frac{H_i}{H_i^2 - \frac{\omega^2}{\gamma^2}}, \qquad \nu = 4\pi M_0 \frac{\frac{\omega}{\gamma}}{H_i^2 - \frac{\omega^2}{\gamma^2}},$$

$$H_i = H_0 - \frac{4\pi}{3} M_0.$$

Le champ de radiofréquence excitateur dérive lui-même du potentiel

$$\psi_{n,n} = h_{n,n} r^n Y_n^n.$$

b. Cas $(n, n-1, 0)$: $\psi = ch_{n,n-1} r^n Y_n^{n-1}$:

$$h_x = c(n-1)(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-2}, \qquad 4\pi m_x = c(k+\nu)(n-1)(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-2},$$
$$h_y = ic(n-1)(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-2}, \qquad 4\pi m_y = ic(k+\nu)(n-1)(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-2},$$
$$h_z = c(2n-1)r^{n-1}Y_{n-1}^{n-1}, \qquad 4\pi m_z = 0;$$

avec

$$c = \frac{(2n+1)h_{n,n-1}}{2n+1+(n-1)(k+\nu)}$$ et les définitions précédentes de k et ν.

Le champ de radiofréquence excitateur dérive lui-même de

$$\psi_{n,n-1} = h_{n,n-1} r^n Y_n^{n-1}.$$

Ces champs et aimantations ont été obtenus en partant des équations de Maxwell :

(3) $$\operatorname{div} \vec{b} = 0$$

et

(4) $$\operatorname{rot} \vec{h} = 0$$

associées à l'équation de mouvement

$$(5)\qquad \frac{d\vec{m}}{dt} = \gamma\,\vec{M}\times\vec{H}.$$

Toutefois, il faut reconnaître que, même pour un non-conducteur, l'équation (4) doit s'écrire rigoureusement

$$(6)\qquad \mathrm{rot}\,\vec{h} = \frac{\varepsilon}{c}\,\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}.$$

Compte tenu des autres équations de Maxwell :

$$(7)\qquad \mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\,\frac{\partial\vec{b}}{\partial t},$$

$$(8)\qquad \mathrm{div}\,\varepsilon\vec{E} = 0,$$

on voit, d'après (7), que les fluctuations de $\vec{b}$, engendrant un champ électrique (loi de Faraday), celui-ci à son tour, d'après (4), pouvant être considéré comme source d'un champ magnétique. D'après (7) et (8) on peut toujours écrire

$$\vec{E} = \mathrm{rot}\,\vec{A}' + \mathrm{grad}\,\varphi \qquad \text{avec} \quad \nabla^2\varphi = 0 \qquad \text{et} \quad A' = -\frac{1}{4\pi c}\int\frac{1}{|r|}\,\frac{\partial\vec{b}}{\partial t}\,d\tau,$$

où l'intégration est étendue à tout l'espace. Le E obtenu est alors utilisé pour obtenir la composante supplémentaire de champ magnétique à l'aide de (3) et (6). Une difficulté surgit ici due au fait qu'en résonance ferromagnétique, la perméabilité n'est pas isotrope, mais se présente sous la forme d'un tenseur antisymétrique, soit

$$(9)\qquad \vec{b} = \begin{pmatrix} k+1 & -i\nu & 0 \\ i\nu & k+1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\vec{h} \qquad \text{ou} \qquad \vec{b} = \begin{pmatrix} k+\nu+1 & 0 & 0 \\ 0 & k+\nu+1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\vec{h}$$

pour les modes circulairement polarisés.

En première approximation, on peut traiter le cas où la perméabilité est isotrope et égale à $k+\nu+1$.

D'après (3) et (6) on peut alors écrire

$$\vec{h} = \mathrm{rot}\,\vec{A}^* + \mathrm{grad}\,\psi \qquad \text{avec} \quad \nabla^2\psi = 0 \qquad \text{et} \quad \vec{A}^* = \frac{\varepsilon}{4\pi c}\int\frac{1}{|r|}\,\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\,d\tau,$$

où l'intégration est étendue à tout l'espace. Le champ magnétique obtenu peut alors servir à définir la nouvelle susceptibilité apparente du spécimen [2]. Ceci permet de déterminer le déplacement de fréquence de résonance. On trouve tant dans le cas $(n, n, 0)$ que dans le cas $(n, n-1, 0)$

$$(10)\qquad \frac{\Delta\left(\dfrac{\omega}{\gamma}\right)}{4\pi M_0} = \frac{n+1}{(2n+1)^2}(kR)^2\left(\frac{\varepsilon}{2n+3} + \frac{1}{2n-1}\right),$$

avec $k = 2\pi/\lambda$; R est le rayon du spécimen.

Si l'on compare alors ces résultats aux résultats expérimentaux [3], il faut, pour obtenir un accord satisfaisant, tenir compte de l'existence d'un champ d'anisotropie de 10 Oe, ce qui est un bon ordre de grandeur pour le grenat d'yttrium sur lequel les expériences ont été effectuées.

Dans le cas où l'on effectue le calcul avec la perméabilité tensorielle (9), on est conduit au même résultat pour le déplacement de fréquence. Mais on constate alors l'introduction d'un couplage des modes circulairement polarisés avec les modes magnétostatiques d'indices $(n + 2, n, r)$ avec $r = 0,1$. Un tel couplage a été observé expérimentalement [4] et se manifeste notamment par une répulsion apparente des modes au voisinage de la fréquence de résonance.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) WALKER, *Phys. Rev.*, 105, 1957, p. 390.

(2) ARTMAN, *J. Appl. Phys.*, 28, nº 1, 1957, p. 92.

(3) FLETCHER, SOLT et BELL, *Phys. Rev.*, 114, 1959, p. 739.

(4) FLETCHER et SOLT, *J. Appl. Phys.*, 30, nº 4, 1959, p. 181 S.

(*Centre d'Études nucléaires de Saclay.*)

MAGNÉTISME. — *Structure magnétique du grenat d'holmium à basse température.* Note (*) de MM. **André Herpin, Wallace C. Koehler** et **Pierre Mériel**, présentée par M. Francis Perrin.

On propose une structure magnétique du grenat ferrimagnétique d'holmium à basse température. Elle rend compte quantitativement des intensités diffractées à 4,2° K par une poudre cristalline et de leur variation avec le champ magnétique.

La structure cristalline du grenat d'holmium 5 Fe_2O_3, 3 Ho_2O_3 relève du groupe I *a* 3 *d*. La maille comprend 16 Fe en position *a*, 24 Fe en position *d* et 24 Ho en position *e*. Dans le spectre de diffraction neutronique à 4,2° K apparaissent les raies 110, 200, 310, interdites par ce groupe de symétrie. Un modèle où tous les atomes en même position auraient des moments parallèles est donc exclu. Toutefois, les interactions d'échange entre les atomes de fer étant fortes, la disposition antiparallèle des moments des Fe *a* et Fe *d* subsiste à basse température. L'hypothèse la plus raisonnable est d'admettre que les atomes de Ho sont groupés en plusieurs sous-réseaux magnétiques. Un mécanisme de décomposition du type Yaffet et Kittel est à éliminer, les interactions d'échange *d-d* étant très faibles. Nous avons attribué cette décomposition à un champ cristallin du même ordre de grandeur que l'interaction d'échange Ho-Fe.

L'intensité de la raie 222 est nulle, la structure magnétique est centrée; ces faits, ainsi que la symétrie du champ cristallin, imposent une décomposition en six sous-réseaux $A_1A_2A_3$, $B_1B_2B_3$. Les sous-réseaux $A_1A_2A_3$ (ou $B_1B_2B_3$) se déduisent les uns des autres par rotation autour de l'axe [111]. Les coordonnées des atomes sont :

A_1 : (1/8, 0, 1/4); (7/8, 0, 3/4) + 1/2, 1/2, 1/2;

B_1 : (3/8, 0, 3/4); (5/8, 0, 1/4) + 1/2, 1/2, 1/2.

Le fait que l'intensité de la raie 200 ne varie pas sous l'action d'un champ magnétique impose une structure magnétique rigide dans les champs faibles admettant [111] comme axe de symétrie ternaire. Ceci exige que la direction des moments magnétiques des Fe soit parallèle à [111] et que les moments $\vec{\mu}_{A_1}$, $\vec{\mu}_{A_2}$, $\vec{\mu}_{A_3}$ (et $\vec{\mu}_{B_1}$, $\vec{\mu}_{B_2}$, $\vec{\mu}_{B_3}$) se déduisent les uns des autres par rotation autour de [111].

Le meilleur accord entre les intensités magnétiques observées et calculées est obtenu pour les composantes suivantes des moments magnétiques (en magnéton de Bohr) :

$$(\mu_{A_1})_x = 7{,}16, \quad (\mu_{A_1})_y = 2{,}48, \quad (\mu_{A_1})_z = 2{,}48;$$
$$(\mu_{B_1})_x = 7{,}96, \quad (\mu_{B_1})_y = -0{,}34, \quad (\mu_{B_1})_z = -0{,}34;$$

les Fe *a* ayant des moments parallèles à [111] et les Fe *d* parallèles à $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$. La longueur des moments magnétiques est alors de 8 μ_B pour les atomes

de Ho. Les angles de $\vec{\mu}_{A_1}$ et de $\vec{\mu}_{B_1}$ avec [111] sont respectivement 29 et 63°.

Le tableau I permet de comparer les valeurs des intensités magnétiques observées et calculées, en valeur absolue (colonnes 2 et 3).

TABLEAU I.

h k l	$I \times 10^{-4}$ barn calculé.	observé.	$\frac{I(H)}{I(0)}$ calculé.	observé.
110	2,7	3,0	0,79	0,55 ± 0,27
200	13,3	11,6	1	1 ± 0,08
112	32,1	31,4	0,02	0,30 ± 0,04
220	6,7	3,5	0	0 ± 0,32
310	0,9	1,0	–	–
222	0	0	–	–
321	23,3	23,1	0,80	0,84 ± 0,06
400	6,6	8,4	1	1 ± 0,12
114-330	0,5	0	–	–
420	2,5	2,3	1,31	1 ± 0,38
332	9,7	11,1	0,28	0,51 ± 0,08
422	4,0	4,1	0,07	0,31 ± 0,19
431-510	0,6	0,4	0,87	1 ± 1
521	12,1	11,6	0,79	0,73 ± 0,08

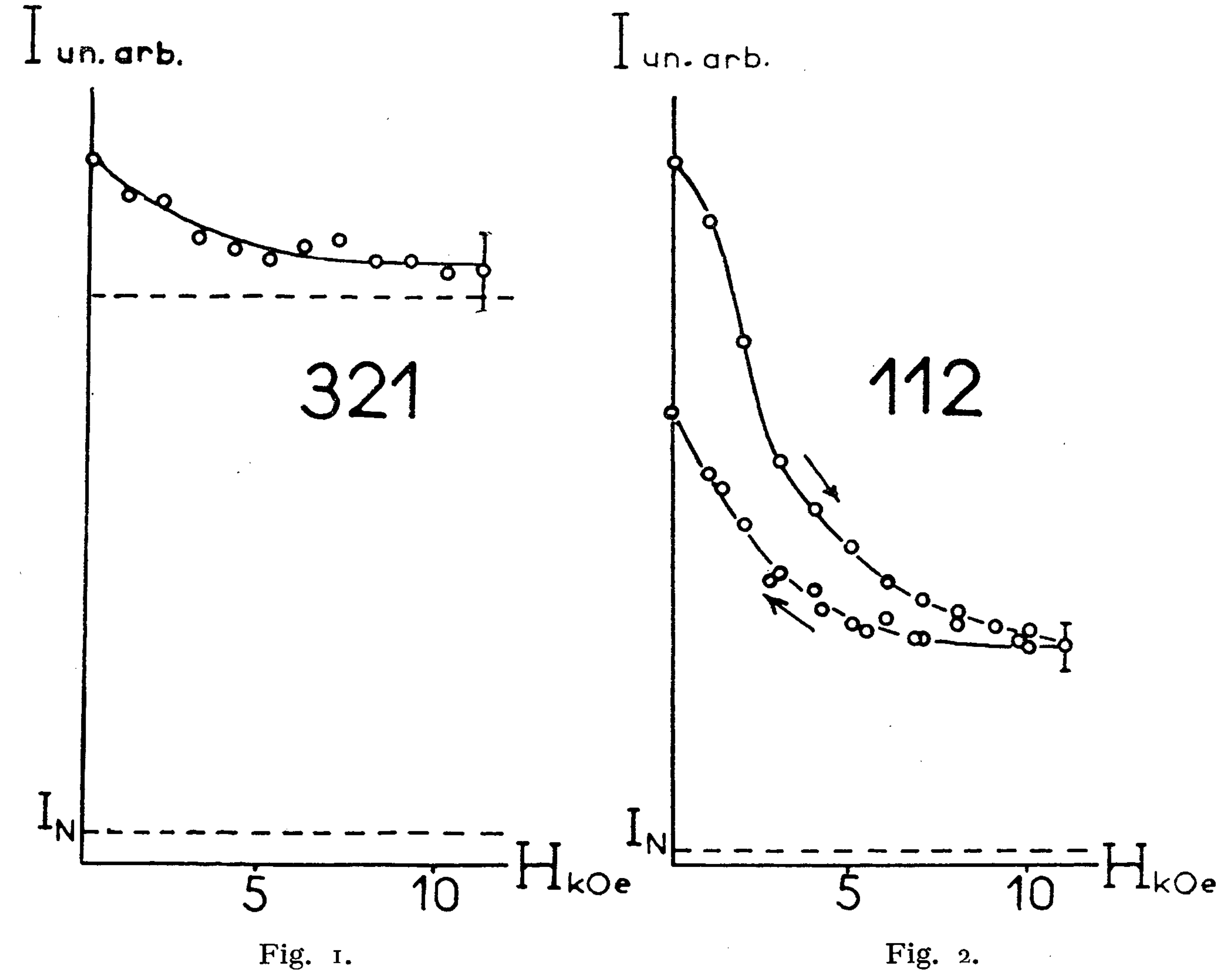


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Variation de l'intensité de la raie 321 avec le champ.

Fig. 2. — Variation de l'intensité de la raie 112 avec le champ. Effet d'hystérésis.

Quand on fait agir un champ magnétique parallèle au vecteur de diffusion, l'intensité des raies se modifie et, en général, diminue. Une saturation est le plus souvent obtenue à partir de quelques kilo-œrsteds (*fig.* 1), sauf pour les raies 112 et 332 pour lesquelles elle n'est pas atteinte à 11 kOe (*fig.* 2). Si l'on admet que la structure magnétique est assez rigide pour que l'influence du champ se limite à un effet de domaines, on peut calculer le rapport entre l'intensité avec champ et l'intensité à champ nul. Les colonnes 4 et 5 du tableau I permettent la comparaison avec les résultats expérimentaux. On voit que l'accord est bon quantitativement, sauf en ce qui concerne les deux réflexions 112 et 332 pour lesquelles la saturation n'est pas atteinte.

Un diagramme de poudre ne donne pas suffisamment d'informations pour qu'on puisse affirmer l'unicité de la solution proposée. Elle est cependant en bon accord avec les faits expérimentaux observés et nous entreprenons une étude sur monocristal qui, donnant plus de renseignements, doit nous permettre de vérifier l'exactitude de cette structure.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(*Centre d'Études nucléaires de Saclay.*)

MAGNÉTISME. — *Étude magnétique de l'enrobage par pellicules de cobalt des grains de carbures de tungstène.* Note (*) de M. **Michel Toitot**, transmise par M. Louis Néel.

Les poudres destinées à la réalisation des carbures frittés doivent être fines, homogènes, de teneur et de granulométrie contrôlées. Une comparaison de leur état magnétique nous donne un repère précis correspondant aux différentes qualités exigées.

La dureté et surtout la résistance mécanique d'un carbure fritté dépendent, dans une large part, de l'homogénéité et de la finesse du liant utilisé, généralement du cobalt. Ce dernier doit se présenter, après frittage, sous la forme d'un film aussi fin et continu que possible. Cet état est obtenu en partant de mélange de poudres de cobalt et de carbures de tungstène, titane, etc. ayant subi un malaxage dans des broyeurs spéciaux. Progressivement, les grains de cobalt se trouvent ainsi déformés en pellicules par les grains de carbures, plus durs, et les enveloppent partiellement. Cet état de la matière est très difficile à contrôler. Le problème majeur consiste à rechercher une grandeur physique, dont la variation puisse donner un repère valable et sûr, de constance de la qualité.

Plusieurs études ont déjà été entreprises dans ce sens, et divers auteurs ont cherché à caractériser cet état d'enrobage des carbures par le cobalt, à l'aide de la méthode de dispersion des rayons X ([1]) : cette méthode reste d'interprétation délicate.

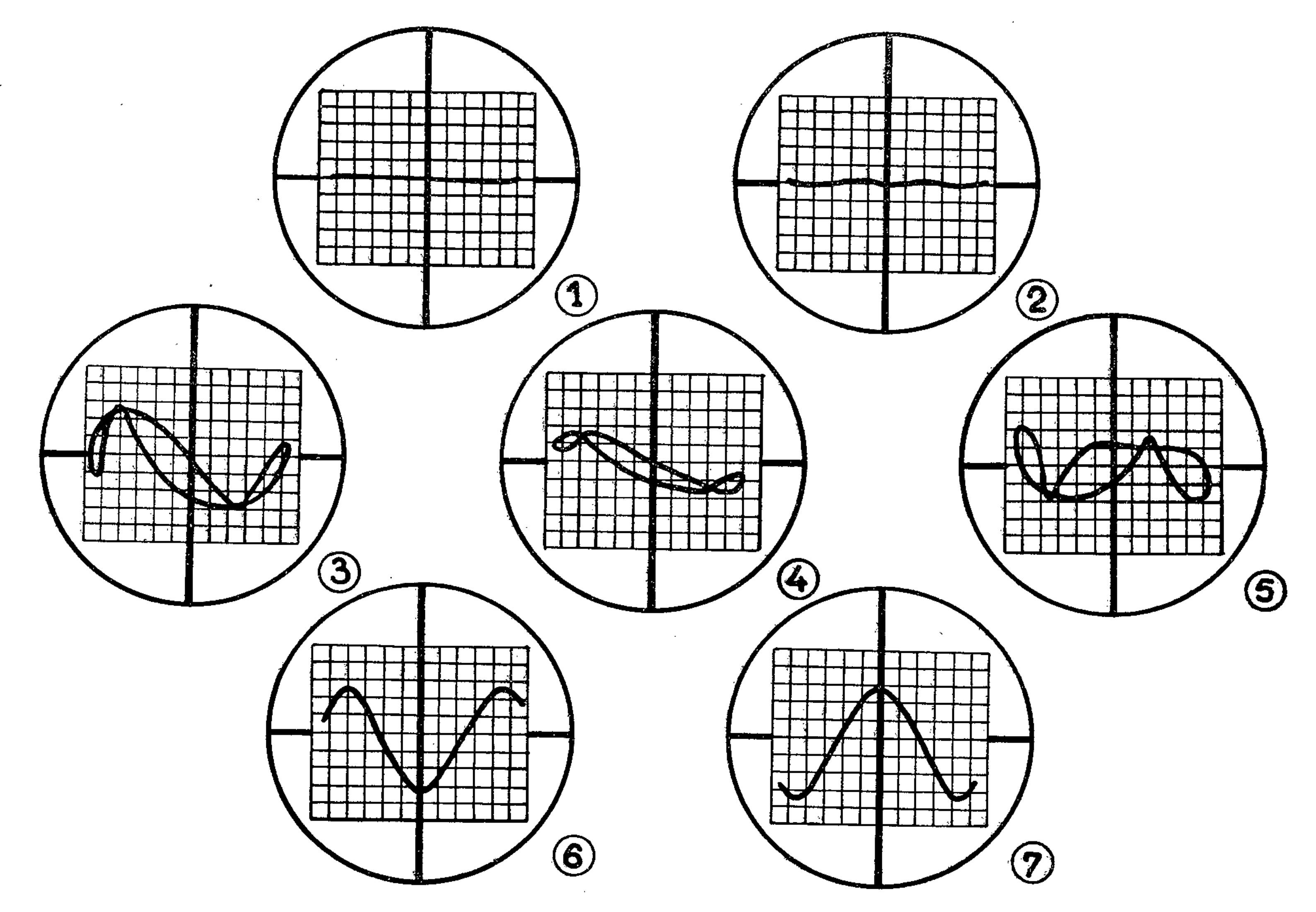
Des clichés, pris à l'aide d'un microscope électronique, sur des lots de poudre, ne donnent que peu d'informations. Il est pratiquement impossible de distinguer les pellicules de cobalt des grains de carbures, sur lesquels elles se fixent intimement.

La méthode physique que nous proposons est basée sur les variations considérables des propriétés magnétiques et notamment du champ coercitif des substances ferromagnétiques en fonction de l'écrouissage ainsi que de la dimension et de la forme des grains. On sait par exemple qu'en passant de l'état massif à l'état de grains de l'ordre du millième de micron de diamètre, le champ coercitif du fer pur croît d'abord de 0,01 Oe jusqu'à une valeur maximale de l'ordre de 1000 Oe (pour des grains de l'ordre de 0,01 μ) et diminue ensuite pour tendre vers zéro, en même temps que le ferromagnétisme laisse place à une sorte de paramagnétisme (superparamagnétisme). Le cobalt se comporte de manière analogue. Des phénomènes du même genre se produisent aussi pour les films minces.

L'appareillage que nous utilisons se compose de deux jeux de bobines d'induction, soumises à des champs alternatifs à fréquence industrielle. La méthode employée s'apparente à une balance pour comparaison d'effets magnétiques. Chaque jeu de bobines comprend :

— une bobine inductrice créant en son centre un champ de 250 à 300 Oe;
— une bobine induite pour la mesure, et une bobine de compensation.

Les deux jeux de bobines peuvent contenir, chacun en leur centre, un tube de diamètre intérieur de 12 mm, et de longueur utile de 120 à 130 cm, renfermant un certain poids de poudre (80 g ± 40 mg). L'un correspond à l'échantillon « étalon », l'autre à l'échantillon pour la « mesure ». Les f. é. m., mises en opposition sont étudiées à l'aide d'un oscillographe cathodique. L'étude de l'état magnétique de la matière se fait en utilisant un balayage horizontal du spot, fonction du courant, c'est-à-dire du champ



magnétique entre bobine et échantillon, en retirant plus ou moins ce dernier. A deux cycles d'hystérésis semblables correspondra à chaque instant, pour un certain couplage magnétique, une opposition des f. é. m., et une droite apparaîtra sur l'écran. Pour des cycles d'hystérésis différents, il est impossible de réaliser l'opposition instantanée, de certaines fréquences harmoniques. Par variation du couplage, nous inscrirons alors la figure obtenue dans un rectangle de hauteur minimale. Cette hauteur, proportionnelle au taux d'harmoniques, sera utilisée pour caractériser la différence d'état existant entre les matières contenues dans les tubes M et E. Par expérience, il est possible d'établir un catalogue, et de différencier des états d'enrobage des carbures par le cobalt, ou encore, dans une certaine mesure, des états cristallins dissemblables (*fig.* 1, 2, 3 et 4).

L'étude de la teneur en cobalt se fait en utilisant le balayage classique en dents de scie, synchronisé sur la phase du champ excitateur. Le terme « fondamental » de la f. é. m. est proportionnel à l'aimantation de l'échan-

tillon. Pour un état magnétique donné, il nous renseigne sur la teneur en cobalt. Un système de filtrage élimine une grande partie des harmoniques. La distance entre l'axe origine et le sommet de la courbe en forme de sinusoïde nous renseigne en grandeur et en signe, sur l'écart de teneur en cobalt entre les échantillons E et M. Par un réglage judicieux du gain, il est possible par exemple de faire correspondre 0,5 % de cobalt, à une division (5 mm) (*fig.* 5, 6 et 7).

Grâce à la simplicité de l'appareil utilisé, cette méthode de vérification est très rapide. Elle permet de déceler :

— des variations du temps de malaxage, dans les broyeurs de quelques heures à une dizaine d'heures;

— des écarts de pourcentage de phases cubiques et hexagonales ± 10 % (avant malaxage);

— des différences de teneurs en cobalt (à états magnétiques identiques) de ± 0,2 %.

Exemples pratiques. — Échantillons de poudre étalon E et de mesure M, de même provenance, ayant des temps de malaxage fixes, soit 50 h pour M, variables pour E, soit : 50 h (*fig.* 1); 10 h (*fig.* 3); 40 h (*fig.* 4) (cette dernière figure est obtenue avec un gain 2,5 fois plus élevé).

— Échantillons de poudre à l'état brut, et ayant des états cristallins différents (*fig.* 5), E = 20 % de phase cubique, 80 % de phase hexagonale; M = 87 % de phase cubique, 13 % de phase hexagonale.

— Échantillons de poudre de même état magnétique, ayant des teneurs en cobalt de 7,5 % pour l'échantillon E, variable pour l'échantillon M, soit : 7,5 % (*fig.* 2); 6 % (*fig.* 6); 9 % (*fig.* 7).

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) W. DAWIHL, *Microtecnic*, 6, n° 3, 1952, p. 165 à 175.

(*Laboratoire de la Société des Forges et Ateliers du Creusot.*)

ÉLECTRONIQUE. — *Sur les graphes de transfert d'un système linéaire.* Note (*) de MM. **Yutze Chow** et **Étienne Cassignol**, transmise par M. Charles Camichel.

Les auteurs proposent une nouvelle méthode pour la construction du graphe de transfert d'un système linéaire basée sur le concept de « nœud nul ». Cette représentation permet d'unifier les diagrammes de Coates et de Mason. La méthode indiquée est ensuite appliquée à l'étude d'un amplificateur à transistor.

Plusieurs auteurs [Mason (1) et plus récemment Coates (2)] ont proposé diverses représentations d'un système linéaire basées sur les graphes de transfert. L'introduction du concept de « nœud nul » nous a amenés à concevoir un diagramme différent.

Soit le système d'équations algébriques linéaires suivant :

$$\sum_{j=0}^{n} a_{kj} X_j = 0 \qquad (k = 1, 2, \ldots, n) \tag{1}$$

ou, en mettant en évidence le nœud source X_0.

$$\sum_{j=1}^{n} a_{kj} X_j + a_{k0} X_0 = 0. \tag{2}$$

L'équation (2) sous forme matricielle, peut encore s'écrire, en supposant X_0 égal à l'unité :

$$\begin{vmatrix} a_{10} & a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n0} & a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \end{vmatrix} \tag{3}$$

avec

$$N_1 = N_2 = \ldots = N_n = 0.$$

Dans la méthode proposée, aux nœuds N_j représentant les variables nulles N_j ne sont rattachées que des branches convergentes; ces nœuds N_j seront par suite dénommés « nœuds puits nuls ».

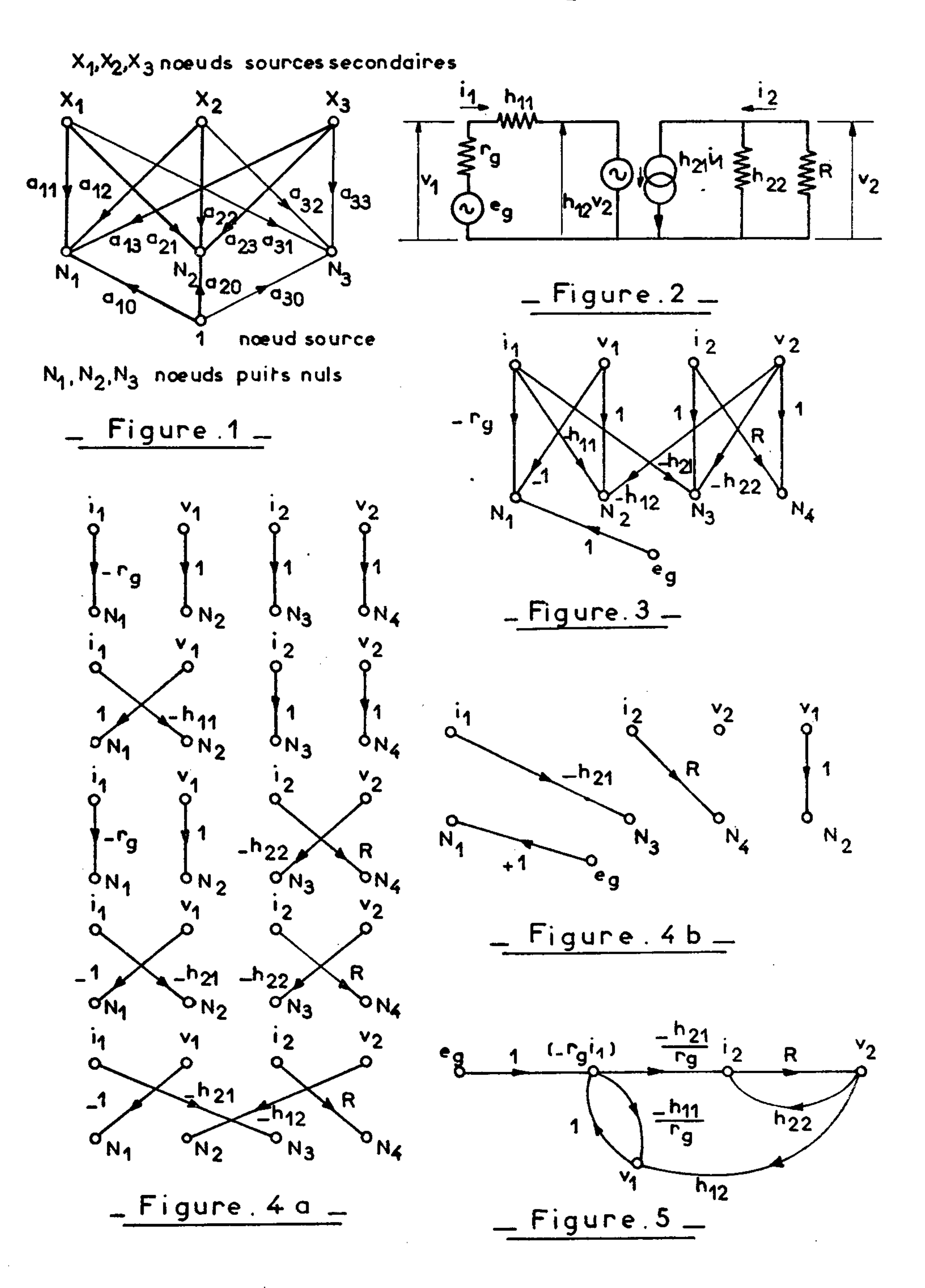
D'autre part, les nœuds X_j liés aux variables X_j ne possédant que des branches divergentes seront désignés par le terme « nœud source secondaire » par opposition à X_0, nœud source principale. De plus, a_{kj} et a_{k0} représentent respectivement les transmittances des branches connectant le nœud X_j au nœud N_k et le nœud source X_0 au nœud N_k.

La figure 1 indique le graphe du système d'équations (1) dans le cas où $n = 3$.

L'aspect général de la méthode proposée réside dans le fait qu'elle permet d'unifier les représentations de Mason et de Coates. En effet, il suffit de faire coïncider les nœuds N_j et X_j pour se ramener au graphe de Coates.

D'autre part, l'obtention du graphe de Mason est lié à un théorème démontré dans un précédent article ([3]) et que nous rappellerons ici pour plus de commodité :

On peut inverser toute branche de transmittance t dirigée vers un nœud nul si elle est issue d'un nœud source. La nouvelle valeur t' de la transmittance de la branche considérée sera telle que $tt' = -1$.



— Figure 1 — — Figure 2 — — Figure 3 — — Figure 4 a — — Figure 4 b — — Figure 5 —

Le nœud obtenu après l'opération d'inversion ne représente plus une variable nulle.

Les propriétés ainsi mises en évidence permettent de conclure à certains avantages du diagramme proposé par rapport aux deux précédents.

Tout d'abord, le calcul de la transmittance d'un système s'effectuera à partir de la formule générale de Desoer ([4]) utilisée pour les graphes de Coates. Elle conduit, en effet, à une expression beaucoup plus simple ([2]), ([4]) que celle de la formule générale de Mason ([1]).

D'autre part, si l'on désire analyser un graphe résidu du graphe initial d'un système, il sera possible d'obtenir par la transformation simple indiquée précédemment le diagramme de Mason auquel on peut appliquer la méthode de duplication des nœuds ([5]). Par contre, le diagramme de Coates ne jouit pas de cette propriété de réduction.

Proposons-nous d'appliquer la méthode proposée à l'étude d'un amplificateur à transistor.

Le système d'équations régissant le circuit peut s'écrire

$$(4)\qquad \begin{cases} e_g - v_1 - r_g i_1 = 0, \\ v_1 - h_{11} i_1 - h_{12} v_2 = 0, \\ i_2 - h_{21} i_1 - h_{22} v_2 = 0, \\ v_2 + R i_2 = 0. \end{cases}$$

La considération successive des équations du système ([4]) conduit à la construction systématique du graphe de transfert du circuit analysé (*fig.* 3).

La transmittance totale s'écrit en appliquant la relation générale de Desoer (*fig.* 4 *a* et 4 *b*).

$$(5)\qquad T = \frac{v_2}{e_g} = \frac{-h_{21} R}{h_{11} + r_g + h_{22} R r_g + \Delta h R},$$

avec

$$\Delta h = h_{22} h_{11} - h_{12} h_{21}.$$

L'inversion des branches $N_1\, i_1$, $N_2\, v_2$, $N_3\, i_2$, $N_4\, v_2$, conduit au graphe de Mason (*fig.* 5).

(*) Séance du 26 septembre 1960.

([1]) S. J. Mason, *Proc. I. R. E.*, 41, 1953, p. 1144-1156; 44, 1956, p. 920-926.
([2]) C. L. Coates, *I. R. E. Trans. on circuit Theory*, CT-6, 1959, p. 170-187.
([3]) E. Cassignol et Y. Chow, *Onde Électrique*, septembre 1960.
([4]) C. A. Desoer, *Proc. I. R. E.*, 48, 1960, p. 883-889.
([5]) Y. Chow, *I. R. E. Trans. on circuit Theory*, CT-6, 1959, p. 233-234.
([6]) E. Cassignol et J. Lagasse, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2856.

ÉLECTRONIQUE. — *Sur deux phénomènes particuliers concernant les triodes à gaz.* Note de MM. **Georges Giralt** et **Pham Huu Hiep**, transmise par M. Charles Camichel.

Les deux phénomènes particuliers observés expérimentalement par les auteurs sur les triodes à gaz concernent d'une part le désamorçage du tube par application d'impulsions de polarité positive sur la grille et d'autre part, la transmission intégrale d'une charge à travers l'élément. Les auteurs décrivent les résultats expérimentaux et ébauchent un embryon de théorie.

En premier lieu, il a toujours été admis que la décharge d'une triode à gaz une fois amorcée, la grille de commande perdait tout pouvoir de contrôle sur la décharge par suite de la formation d'une gaine d'ions positifs qui joue le rôle d'écran électrique entre la grille et la décharge. Cependant, pour de faibles courants de décharge, on a pu interrompre la décharge en appliquant des impulsions fortement négatives sur la grille.

Nous avons pu constater, à partir du montage représenté sur la figure 1, que l'application d'impulsions positives sur la grille pouvait également interrompre ces décharges, dans des conditions déterminées, pour de faibles courants allant de quelques dizaines de milliampères à quelques milliampères. Ce phénomène a été observé jusqu'ici sur les thyratrons types PL 5727, PL 5696 et PL 6574. Les expériences se poursuivent sur d'autres types de tubes.

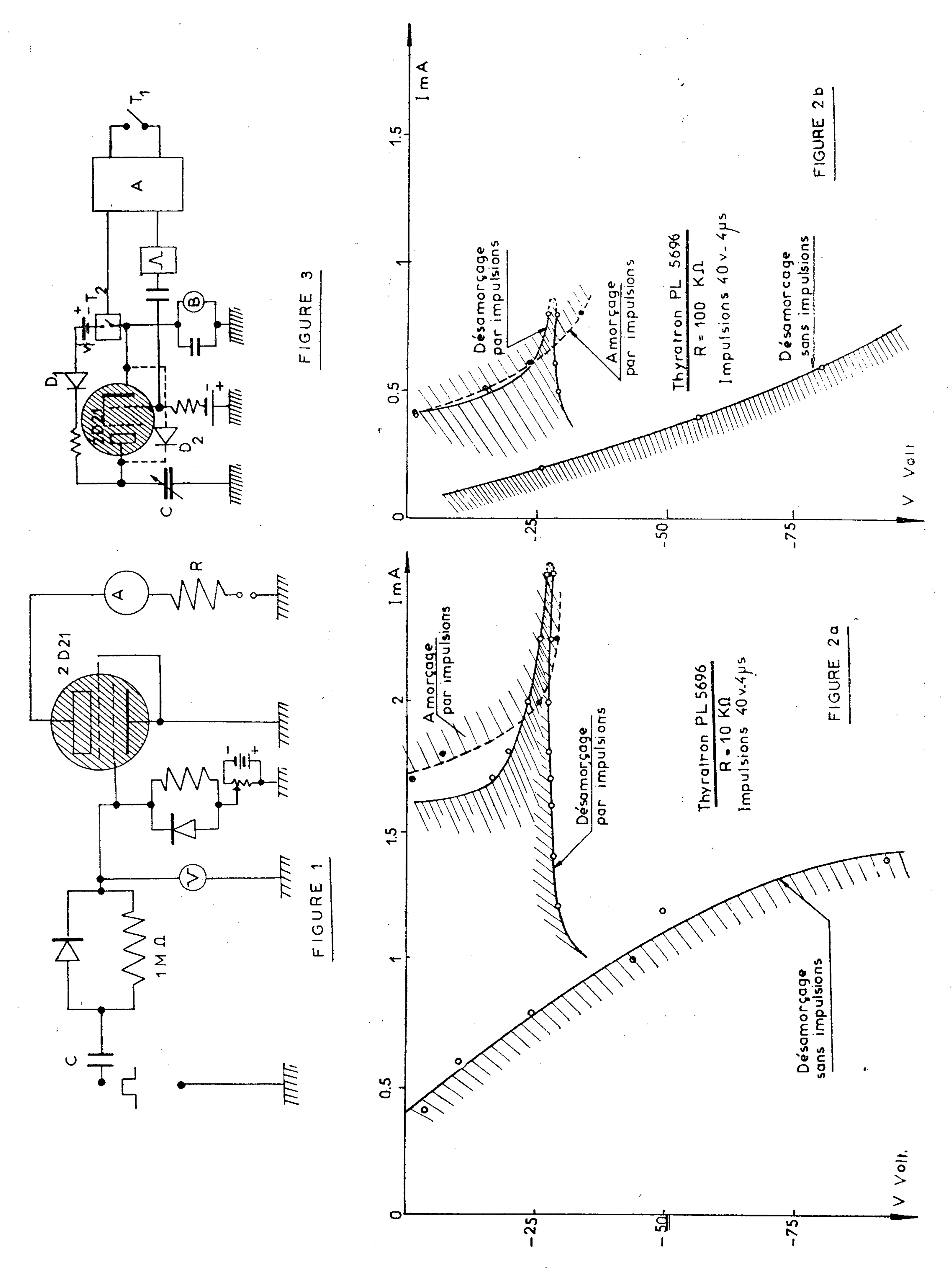
On peut trouver ainsi des plages de fonctionnement où l'impulsion positive envoyée sur la grille assure l'extinction totale du thyratron. Dans certains cas, par exemple pour le tube PL 5696 jusqu'ici étudié, la même impulsion peut bloquer et débloquer alternativement le thyratron. Quelques courbes-types expérimentales sont représentées sur les figures 2 *a* et 2 *b*.

Il est à remarquer que ces courbes varient dans le même type de thyratron d'un tube à un autre et dépendent de la stabilisation du chauffage des filaments et du degré d'utilisation du thyratron.

Dans les hypothèses qui peuvent être envisagées, les recherches que nous poursuivons sur les triodes à gaz doivent nous permettre de faire un choix cohérent. Nous pensons que, tout au moins pour certaines valeurs des paramètres tels que le courant, l'une des causes les plus vraisemblables de l'extinction du thyratron serait la dislocation de la charge d'espace ionique entourant la grille sous l'action des forces de répulsion créées par l'impulsion positive. La perturbation serait suffisante pour que la grille reprenne un contrôle partiel s'accélérant rapidement jusqu'au blocage.

En dernier lieu, nous avons pu transmettre intégralement une charge électrique à travers une triode à gaz par application d'une impulsion de forme et d'amplitude convenables sur sa grille de commande. L'intérêt

et la différence avec le dispositif analogue déjà étudié (1) réside dans le fait que la charge accumulée dans la capacité de plaque du thyratron



peut être intégralement transmise même lorsque la tension plaque-cathode qu'elle crée est très faible.

Le montage d'étude est basé sur une méthode de mesure différentielle qui permet une grande précision des mesures (*fig.* 3).

L'interrupteur T_1 fermé, le dispositif de commande A ferme, à travers le galvanomètre balistique B, le circuit de charge de la capacité C (interrupteur T_2) qui emmagasine une charge $q_1 = C\gamma$. Au bout d'une fraction de seconde, le dispositif A interrompt le circuit de charge et déclenche en même temps le circuit d'impulsions qui envoie une impulsion positive sur la grille du thyratron, celui-ci se débloque et il s'écoule une charge q_2 à travers le balistique B. La lecture de celui-ci donne la charge résiduelle de la capacité $q_1 - q_2$.

Ainsi, pour le cas type d'une capacité C = 10 000 pF et sous tension V variant de 0 à 40 V, nous avons trouvé une charge $q_1 - q_2$ nulle aux erreurs des appareils de mesure près (de l'ordre de 10^{-9} Cb) résultat qui permet d'affirmer que la capacité C s'est totalement déchargée à travers le thyratron.

Une hypothèse valable du phénomène est que l'impulsion positive reçue par la grille est suffisante pour provoquer l'ionisation de l'espace grille-cathode. Les ions formés vont neutraliser la charge d'espace électronique à la cathode, et les électrons cathodiques accélérés par la tension positive de l'anode peuvent alors venir librement neutraliser la charge anodique, d'où annulation de celle-ci.

Nous poursuivons l'étude entreprise pour éclaircir la réalité plus complexe des phénomènes et leur domaine d'utilisation. Il est important de signaler que pour certaines valeurs de C et de V, l'égalité $q_1 - q_2 = 0$ n'est obtenue que si l'on place aux bornes de la triode à gaz une diode D_2. En l'absence de celle-ci, on a $q_1 - q_2 < 0$.

(1) J. Lagasse, R. Lacoste et G. Giralt, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 412.

(*Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique industrielle, E. N. S. E. E. H., Toulouse.*)

SPECTROSCOPIE HERTZIENNE. — *Largeur de la résonance magnétique du niveau* $4^3\,P_1$ *du zinc excité par bombardement électronique.* Note (*) de M. **Albert-David May**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Dans une Note précédente nous avons décrit des expériences de résonance magnétique de niveaux atomiques excités par bombardement électronique dans le cas du zinc. Diverses durées de vie ont été ainsi déterminées ([1]). Mais des difficultés sont apparues dans le cas du niveau $4^3\,P_1$. La durée de vie a été trouvée être de l'ordre de 10^{-6} s, beaucoup plus courte que $3\,10^{-5}$ s, valeur trouvée par Brück ([2]). Nous nous sommes donc efforcés d'étudier systématiquemient les causes d'élargissement de cette résonance.

1. Les premières cellules à bombardement électronique réalisées possédaient une distance cathode-plaque de l'ordre de 4 mm. La distance que parcourt un atome de zinc dans un temps de 3.10^{-5} s, est de l'ordre de 12 mm : à la température de l'expérience, le temps moyen séparant deux collisions contre les électrodes est plus court que la durée de vie de l'état $4^3\,P_1$. Lors de la collision, l'atome retourne à l'état fondamental et la durée de vie de l'état excité se trouve artificiellement raccourcie. Nous avons donc réalisé des cellules de plus grandes dimensions dont la distance séparant la cathode de la plaque est de 30 mm.

2. La largeur limite de la courbe de résonance qu'on pourrait s'attendre à trouver d'après les résultats de Brück est de l'ordre de 5.10^{-3} gauss. Les inhomogénéités du champ H_0 doivent être inférieures à cette valeur dans le volume compris entre les électrodes. Des mesures réalisées à différentes fréquences montrent une augmentation de la valeur de la largeur limite lorsqu'on opère à des fréquences et par suite à des champs plus élevés. Cet effet doit donc être attribué à l'inhomogénéité du champ H_0 crée par deux bobines en position d'Helmholtz. L'extrapolation des différents résultats en champ nul permet d'éliminer l'influence de cet effet.

Le filament de chauffage de la cathode est construit de façon à éviter la production d'un champ magnétique parasite important. En outre, pour éliminer totalement cet effet, le circuit de chauffage est alimenté à l'aide d'une seule alternance du courant alternatif du secteur, et à l'aide d'un vibreur synchrone le galvanomètre d'observation n'est branché que pendant la demi-période où aucun courant ne circule, dans le circuit de chauffage.

3. L'élargissement résiduel des courbes de résonance pourrait être attribué à un effet des collisions zinc-zinc. Diverses expériences ont été faites en faisant varier la pression entre 10^{-4} et 10^{-2} mm Hg, en modifiant la température du four contenant la cellule à bombardement électronique. Nous n'avons constaté aucun changement de la largeur limite.

Ces différentes modifications expérimentales et corrections nous conduisent à une durée de vie de $1,0.10^{-5}$ s, trois fois plus courte que la valeur trouvée par Brück. D'autres causes d'élargissement doivent donc être cherchées. Mentionnons en particulier :

a. Existence dans le laboratoire d'un champ magnétique parasite à 50 périodes dû aux canalisations électriques et surtout aux différents transformateurs. La durée de vie étant très petite par rapport à 0, 02 s, ces variations alternatives du champ H_0 provoquent un élargissement appréciable de la raie. Un tel champ parasite de 10 mgauss suffit pour expliquer nos observations.

b. Inhomogénéité du champ de radiofréquence. Si les lignes de force du champ magnétique de radiofréquence ne sont pas rectilignes, un atome excité verra au cours de son déplacement une composante tournante du champ de radiofréquence, de fréquence légèrement différente ([3]). Comme il n'y a pas de collision pendant la durée de vie de l'état excité, cet effet ne peut pas être pris en moyenne ([4]). Les électrodes métalliques placées à l'intérieur de la cellule produisent une distorsion des lignes de force du champ magnétique de radiofréquence, distorsion qu'il est très difficile d'évaluer. Nous avons calculé à titre d'exemple que lorsque les lignes de forces tournent de 30° dans un espace de 1 cm, il se produit un élargissement de l'ordre de grandeur de la largeur naturelle du niveau $4^3\,P_1$.

Ces deux effets peuvent être difficilement évalués, et il n'est guère possible d'affirmer au cours d'une expérience qu'ils sont parfaitement corrigés. La mesure précise d'une durée de vie d'un état excité par résonance magnétique est donc difficile lorsque la durée de vie est supérieure à 10^{-5} s.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

([1]) A. D. MAY, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3616.
([2]) H. BRÜCK, *Thèse*, Paris, 1942.
([3]) S. MILLMAN, *Phys. Rev.*, 55, 1939, p. 628.
([4]) F. BLOCH, *Phys. Rev.*, 94, 1954, p. 496.

PHYSIQUE DES SOLIDES. — *Structure de bande du rutile déduite des propriétés optiques et électriques.* Note (*) de MM. **Philippe Moch**, **Minko Balkanski** et **Pierre Aigrain**, présentée par M. Jean Wyart.

Nous avons étudié les propriétés optiques du rutile à la température ordinaire et à 77° K.

L'analyse des résultats de ces expériences, combinée avec des données sur la conductivité déjà publiées par Cronemeyer ([1]), nous conduit à proposer un modèle pour la structure de bande du rutile au centre de la zone de Brillouin.

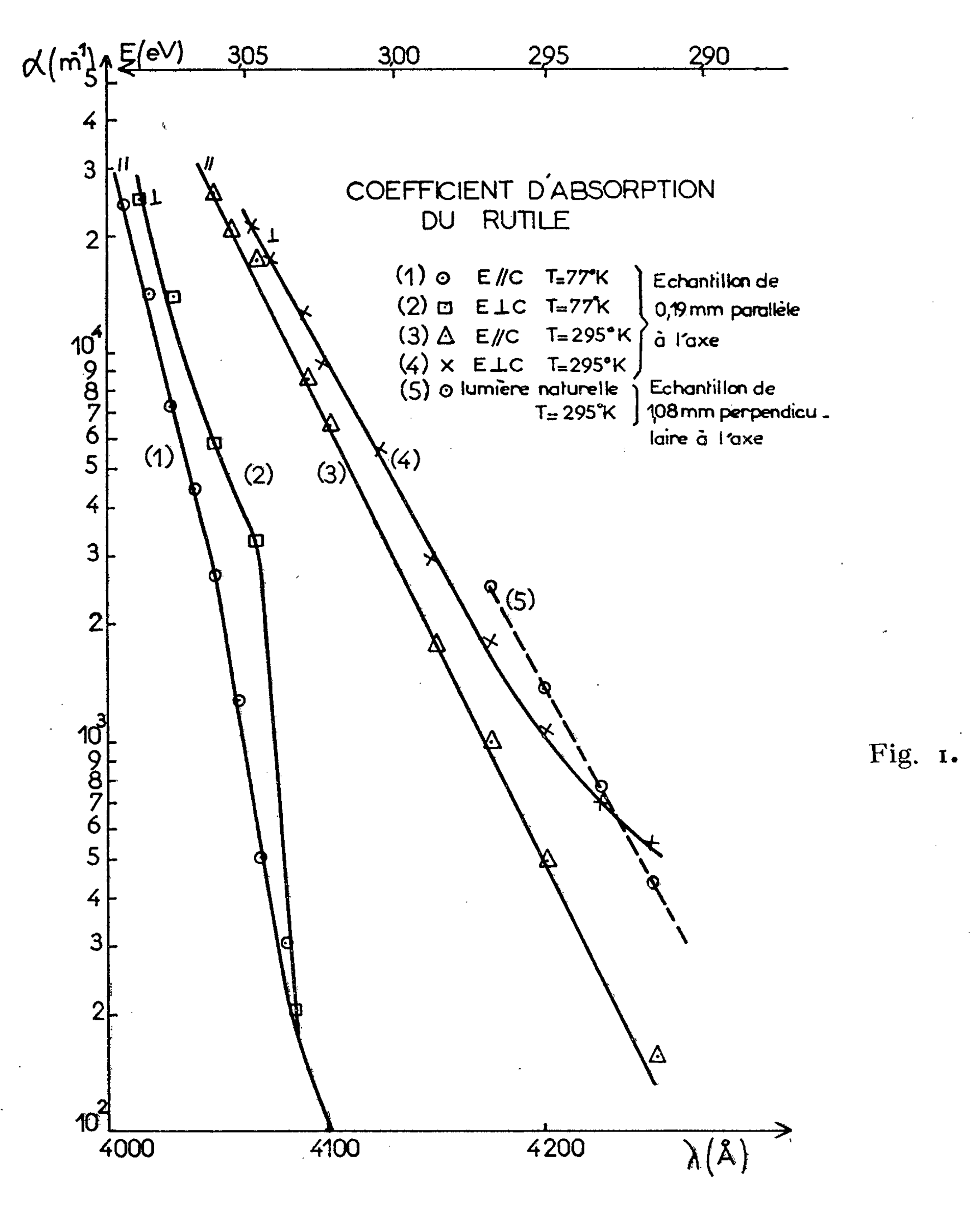


Fig. 1.

Les expériences ont porté, d'une part, sur la mesure de la transmission de monocristaux taillés en lames minces (0,19 et 1,08 mm), et d'autre part, sur la mesure du coefficient de réflexion et de transmission en incidence normale de couches minces évaporées.

Des premières expériences, on peut déduire directement le coefficient d'absorption, dans la gamme où celui-ci ne dépasse pas 3.10^4 m^{-1}, puisque l'indice de réfraction est connu par ailleurs. Le résultat est indiqué sur la figure 1 où les notations $E /\!/ c$, $E \perp c$ se réfèrent à la polarisation de la lumière par rapport à l'axe *c* du cristal quadratique. On remarque un dichroïsme : la limite d'absorption définie par $\alpha = 5.10^{+3}$ m^{-1}, pour $E /\!/ c$ se situe à une énergie supérieure de $1{,}15 \cdot 10^{-2}$ eV à celle pour $E \perp c$. De plus, cette limite varie avec la température (de $5{,}5.10^{-2}$ eV environ entre 300 et 77°K), et l'absorption croît plus vite avec l'énergie aux basses températures.

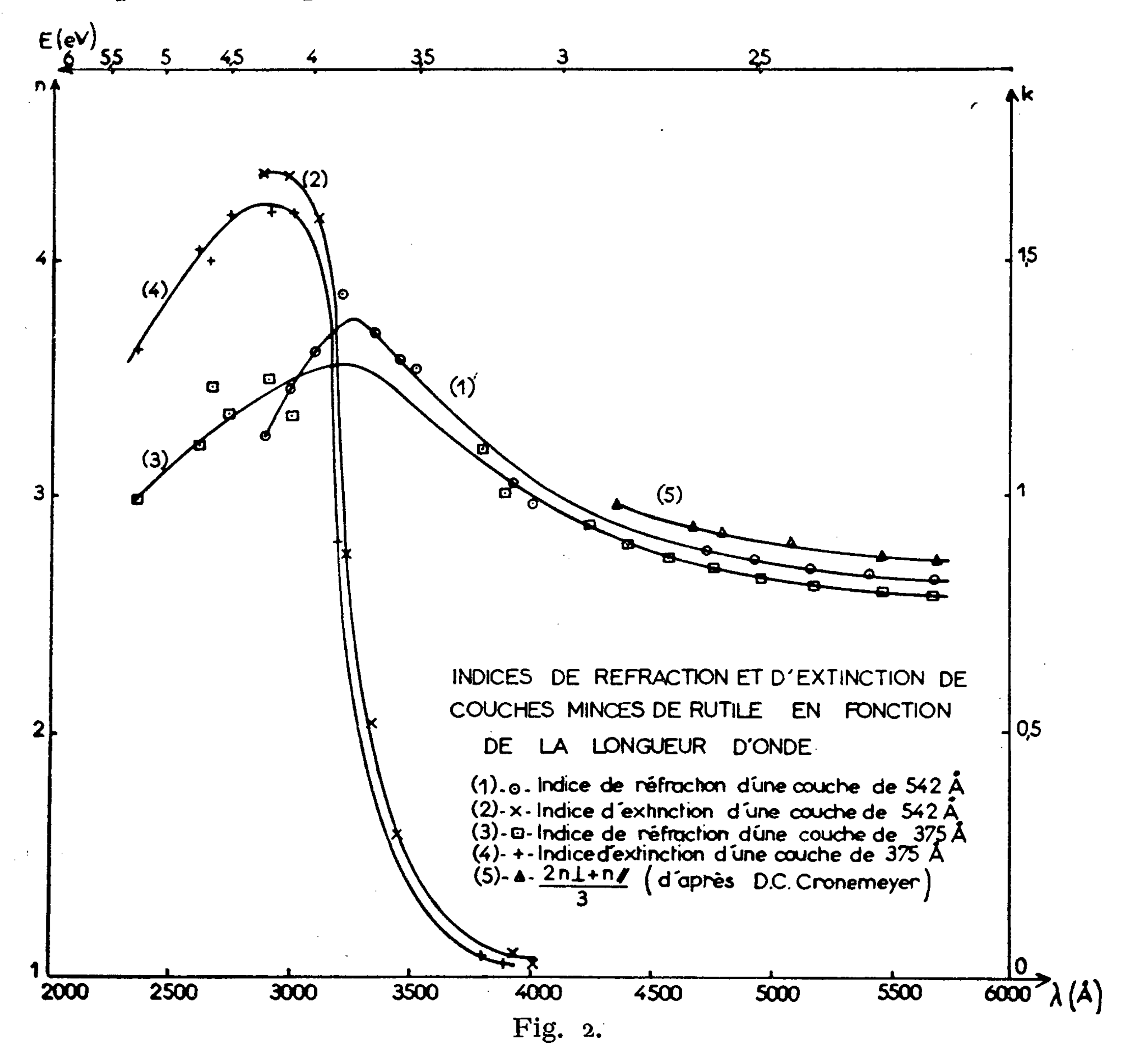


Fig. 2.

Des expériences sur les couches minces, on peut déduire les coefficients d'extinction *k* et l'indice *n* grâce à une analyse classique. Les résultats sont donnés sur la figure 2. On remarque une remontée rapide de *k* pour $\lambda \simeq 3\,200$ Å (E = 3,80 eV) ; *k* passe par un maximum assez plat et reste important à 2 500 Å (5 eV).

Ces résultats sont à rappocher de ceux de D. C. Cronemeyer qui a montré que l'énergie d'activation de conductivité calculée par $\sigma \propto \exp - (W/kT)$ passait d'une valeur $W_0 = 1{,}526$ eV pour $T < 1150°$ K à 1,83 eV pour $T > 1150°$ K. Par ailleurs, il a observé deux maximums de réponse photoconductrice à 3 et 3,3 eV.

Tous ces résultats peuvent s'interpréter d'après le modèle de la figure 3. On s'attend à ce que la bande de valence soit une bande $2p$ de l'oxygène, d'ailleurs dédoublée par le champ cristallin presque cubique en deux bandes que nous admettrons séparées de $1{,}15.10^{-2}$ eV, ce qui explique le dichroïsme. Cette bande serait très étroite (faible mobilité des trous).

Les bandes de conduction seraient d'une part une bande étroite $3d$ du titane probablement détriplée par le champ cristallin, mais les sous-bandes correspondantes se recouvrent probablement. Cette bande serait responsable de la conductivité pour $T < 1150°$ K, les transitions bande de valence

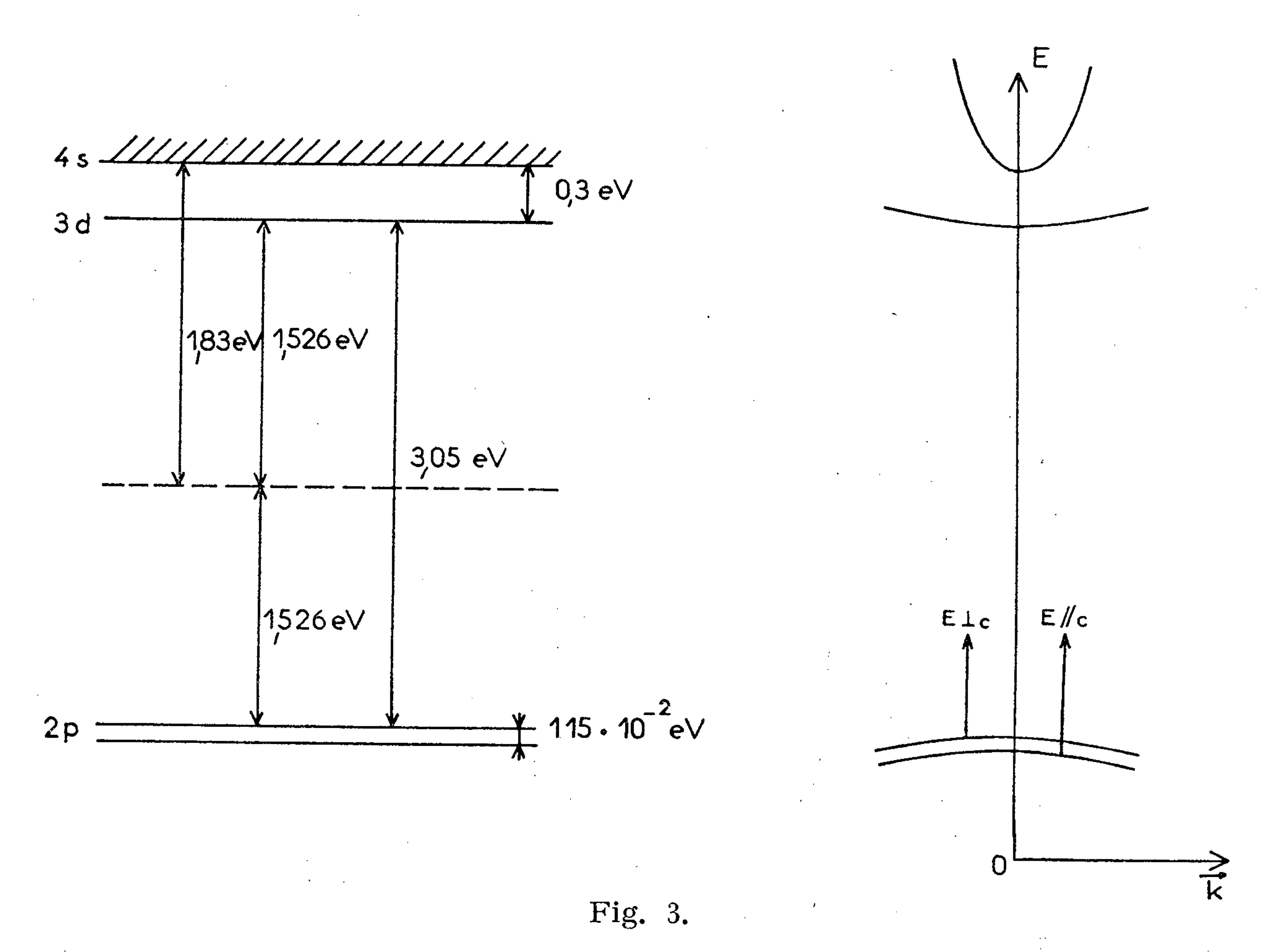


Fig. 3.

vers la bande de conduction $3d$ donneraient lieu au seuil d'absorption à 4 200 Å et à la photoconductivité vers cette même longueur d'onde.

D'autre part, à haute température, il apparaît des électrons beaucoup plus mobiles dans la bande large $4s$ dont le bas est situé vers 3,3 eV. On comprend l'apparition d'une énergie d'activation de 1,83 eV, et d'un seuil d'absorption à 3 800 Å suivi d'une absorption continue dans une bande très large. La photoconductivité à 3,3 eV s'explique aussi par le même modèle.

Il conviendrait de poursuivre ces mesures avec une meilleure résolution et à plus basses températures, surtout dans la gamme des 4 000 Å, où les deux méthodes citées sont toutes deux imprécises.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) D. C. Cronemeyer, *Technical Report* 46, *Laboratory for Insulation Research*, M.I.T., Angust, 1951.

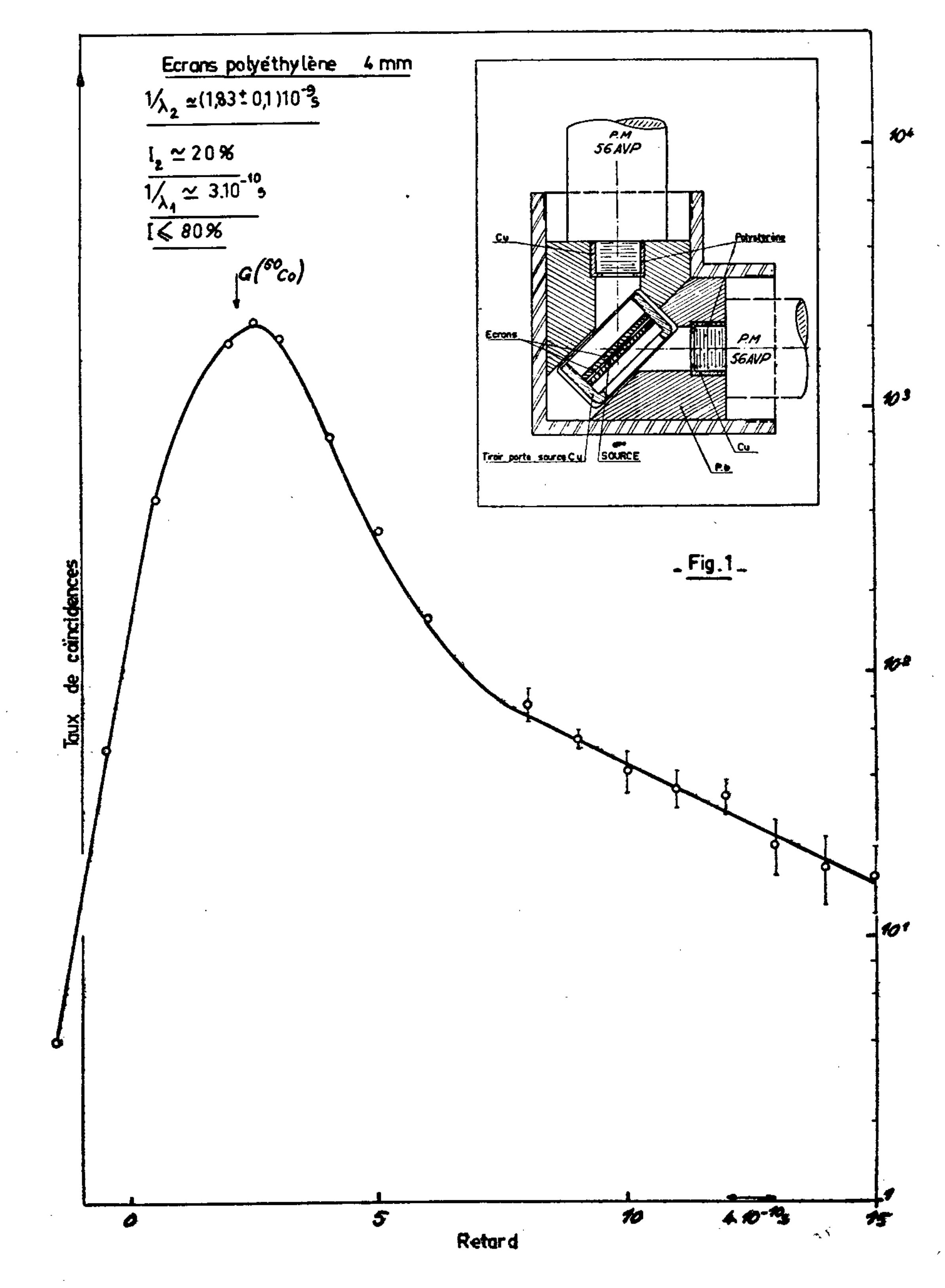
PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Étude du temps de vie des positons dans les métaux.* Note (*) de Mme **Nicole Longequeue**, transmise par M. Louis Néel.

La distribution dans le temps du rayonnement d'annihilation dû à l'absorption des positons dans les solides a été étudiée par une méthode de coïncidences. Nous avons trouvé deux vies moyennes des positons dans les métaux, une courte ($1/\lambda_1 \simeq 10^{-10}$ s) et une longue ($1/\lambda_2 \simeq 7.10^{-10}$ s).

L'étude de l'annihilation des positons dans les solides a été réalisée par divers auteurs [1], [2]. Ils ont trouvé deux catégories de corps :

1° Les métaux pour lesquels le temps de vie du positon dans le métal varie de 1,2 à $1,5.10^{-10}$ s;

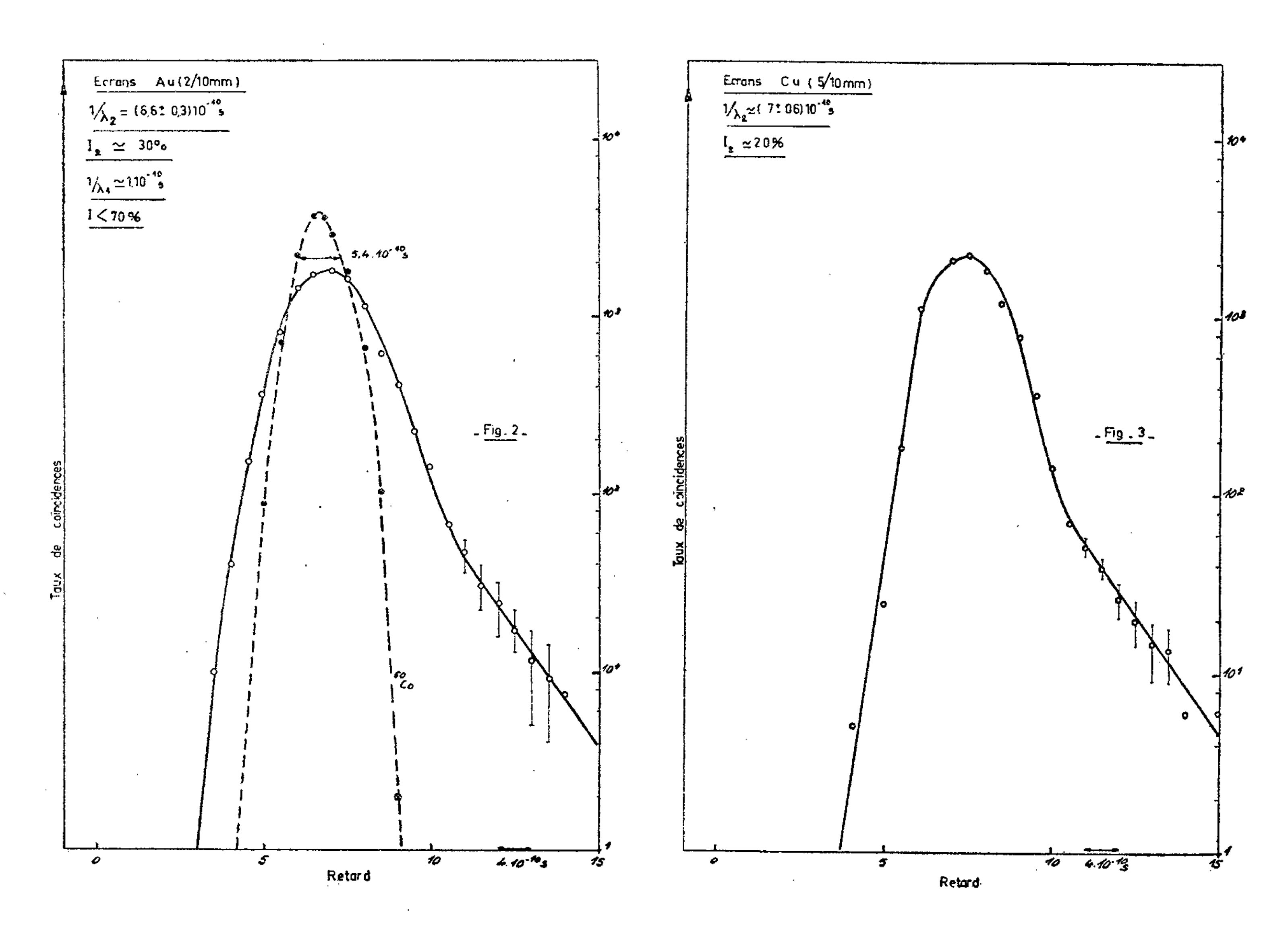
2° Certains corps non métalliques (« téflon », quartz fondu, etc.) pour lesquels ils observent deux vies moyennes distinctes; l'une de l'ordre de quelque 10^{-10} s et l'autre plus longue ($1/\lambda_1$) de l'ordre de quelque 10^{-9} s. La proportion (I_2) de la période longue est en général de l'ordre de 30 %.



- Fig. 1 -

Nous avons étudié divers corps non métalliques (« téflon », quartz fondu, polyéthylène) et quelques métaux. Pour les premiers, nos résultats sont sensiblement en accord avec ceux déjà publiés. Au contraire, pour les métaux, au lieu de la seule période, de l'ordre de quelque 10^{-10} s admise actuellement, nous avons trouvé l'existence de deux périodes : l'une courte ($\simeq 10^{-10}$ s), l'autre plus longue ($\simeq 7.10^{-10}$ s) correspondant à une intensité de 10 à 20 %.

Principe de l'appareillage. — La source de positons est constituée de ^{22}Na (500 μC environ) déposée sur support de mica de 600 g/cm² afin que le nombre d'annihilations se produisant dans le support soit négligeable (< 1 %). Deux écrans du corps à étudier, d'épaisseur suffisante pour



que tous les positons s'y annihilent, sont placés de part et d'autre de la source. Le schéma du dispositif expérimental est donné sur la figure 1. Le système de détection est constitué de scintillateurs plastiques (polystyrène) et de photomultiplicateurs radiotechniques 56 AVP. Le temps de vie des positons est déterminé en mettant en coïncidence, d'une part, l'impulsion correspondant au γ de 1,27 MeV, émis simultanément avec le positon et, d'autre part, celle correspondant à un γ d'annihilation de 0,511 MeV. Le dispositif de coïncidence utilisé est celui de R. Van Zurk ([3]). L'appareil a été éprouvé en mesurant la période du niveau excité de ^{199}Hg.

Résultats. — La période longue a été déterminée par la mesure de la pente de la droite apparaissant en fin de courbe en tracé semi-logarithmique. La période courte a été obtenue par la mesure du déplacement du centre de gravité de la courbe de coïncidences retardées par rapport à celui d'une

courbe de coïncidences simultanées obtenue par les coïncidences entre les γ du ^{60}Co.

1° *Corps non métalliques.* — Les résultats sont donnés dans le tableau I :

TABLEAU I.

	$\frac{1}{\lambda_2}$ (10^{-9} s).	I_2 (%)	$\frac{1}{\lambda_1}$ (10^{-10} s).	I_1 (%)
Quartz fondu	$1,74 \pm 0,15$	32	$\simeq 3$	$\lesssim 70$
« Téflon » (Villot)...	$1,76 \pm 0,1$	20	$\simeq 1,3$	$\lesssim 80$
Polyéthylène........	$1,83 \pm 0,1$	20	$\simeq 3$	$\lesssim 80$

Ils sont pour le quartz fondu et le polyéthylène (*fig.* 1) en accord avec ceux de Bell [1]. La différence de provenance et de pureté explique les différences observées pour le « téflon ».

2° *Métaux.* — Les courbes obtenues sont représentées (*fig.* 2 et 3) et les résultats donnés sur le tableau II. Ces résultats font apparaître la présence de deux périodes : l'une longue de l'ordre de 7.10^{-10} s, l'autre plus courte de l'ordre de 10^{-10} s. Cette dernière valeur ne représente qu'un ordre de grandeur car l'imprécision sur le temps zéro ne nous permet pas de mesurer des périodes inférieures à 10^{-10} s.

TABLEAU II.

	$\frac{1}{\lambda_2}$ (10^{-10} s).	I_2 (%)	$\frac{1}{\lambda_1}$ (10^{-10} s).	I_1 (%)
Au	$6,6 \pm 0,3$	30	1	<70
Al............	10 ± 2	10	1	<90
Cu	$7 + 0,6$	20	1	<80

En résumé, le temps de résolution du sélecteur à coïncidences utilisé ($5,4.10^{-10}$ s) nous a permis de mettre en évidence la présence de deux périodes distinctes pour les métaux. Elles semblent représenter la décomposition de la courbe unique observée précédemment. L'annihilation des positons dans les métaux et les corps non métalliques ne présenterait donc aucune différence fondamentale.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) R. E. BELL et R. L. GRAHAM, *Phys. Rev.*, 90, 1953, p. 644.
(2) R. E. GREEN et R. E. BELL, *Canad. J. Phys.*, 35, 1957, p. 398.
(3) R. VAN ZURK, *J. Phys. Rad.*, 21, 1960, p. 385.

(*Laboratoires de Physique nucléaire de la Faculté des Sciences et du Centre d'Études nucléaires de Grenoble.*)

CHIMIE PHYSIQUE. — *Association des molécules de l'heptyne-1 et du deutéro-1-heptyne-1 avec elles-mêmes et avec les solvants accepteurs de protons.* Note (*) de Mlle **Marie-Louise Josien**, MM. **Pham-Van-Huong** et **Jean Lascombe**, transmise par M. Paul Pascal.

Auto-association de l'heptyne-1. — La figure 1 montre que l'heptyne-1 pur contient à — 70° C deux sortes de molécules : des molécules libres ($\nu_{H-C\equiv}$ à 3 306 cm^{-1}) et des molécules associées dans lesquelles la triple liaison joue le rôle d'accepteur de protons. A la température ordinaire, la présence d'un épaulement vers les basses fréquences prouve que les deux espèces de molécules existent encore. L'effet de la concentration sur la forme de la bande nous a permis de confirmer cette interprétation [1]. Le caractère accepteur de protons de la triple liaison avait été déjà signalé [2], [3].

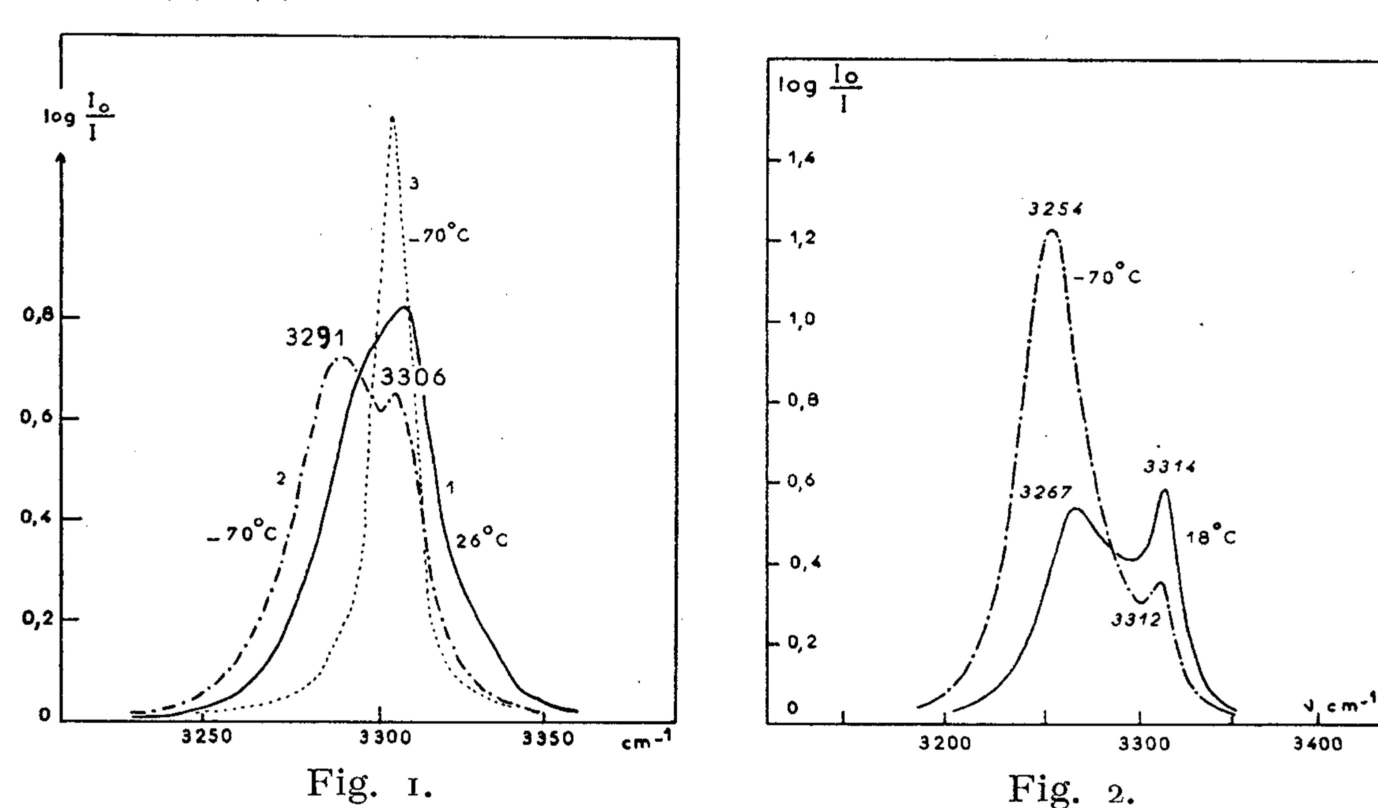


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Effet de température sur le spectre de vibration $\nu_{H-C\equiv}$ de l'heptyne-1.
1, à + 26° C liquide pur; 2, à — 70° C liquide pur; 3, à — 70° C solution dans CS_2;
Épaisseur de cuve d'absorption : 12 μ;
spectromètre Perkin-Elmer 21, prisme CaF_2, fente spectrale : 7 cm^{-1}.

Fig. 2. — Effet de température
sur la bande d'absorption $\nu_{H-C\equiv}$ de l'heptyne-1 dissous dans l'éther éthylique.
1, à + 18° C; 2, à — 70° C.
Concentration : 0,2 M/l; épaisseur de cuve d'absorption : 0,3 mm;
spectromètre « Perkin-Elmer 21 »; prisme CaF_2, fente spectrale : 7 cm^{-1}.

Association de l'heptyne-1 avec les accepteurs de protons. — La figure 2 représente les bandes d'absorption $\nu_{H-C\equiv}$ de l'heptyne-1 dissous dans l'éther éthylique. Elle permet d'attribuer la bande de plus basse fréquence aux molécules d'heptyne-1 associées avec l'accepteur de protons, l'autre aux molécules libres. Nous avons confirmé cette interprétation par la méthode des solvants mixtes [1], [4].

Les spectres de l'heptyne-1 en solution diluée dans une série de solvants purs accepteurs de protons sont représentés dans les figures 3, 4 et 5.

Pour les éthers oxydes, la proportion de molécules associées augmente avec le nombre de groupements accepteurs C—O—C par unité de volume (*fig.* 3). Dans la série des cétones (*fig.* 4) et des amines tertiaires

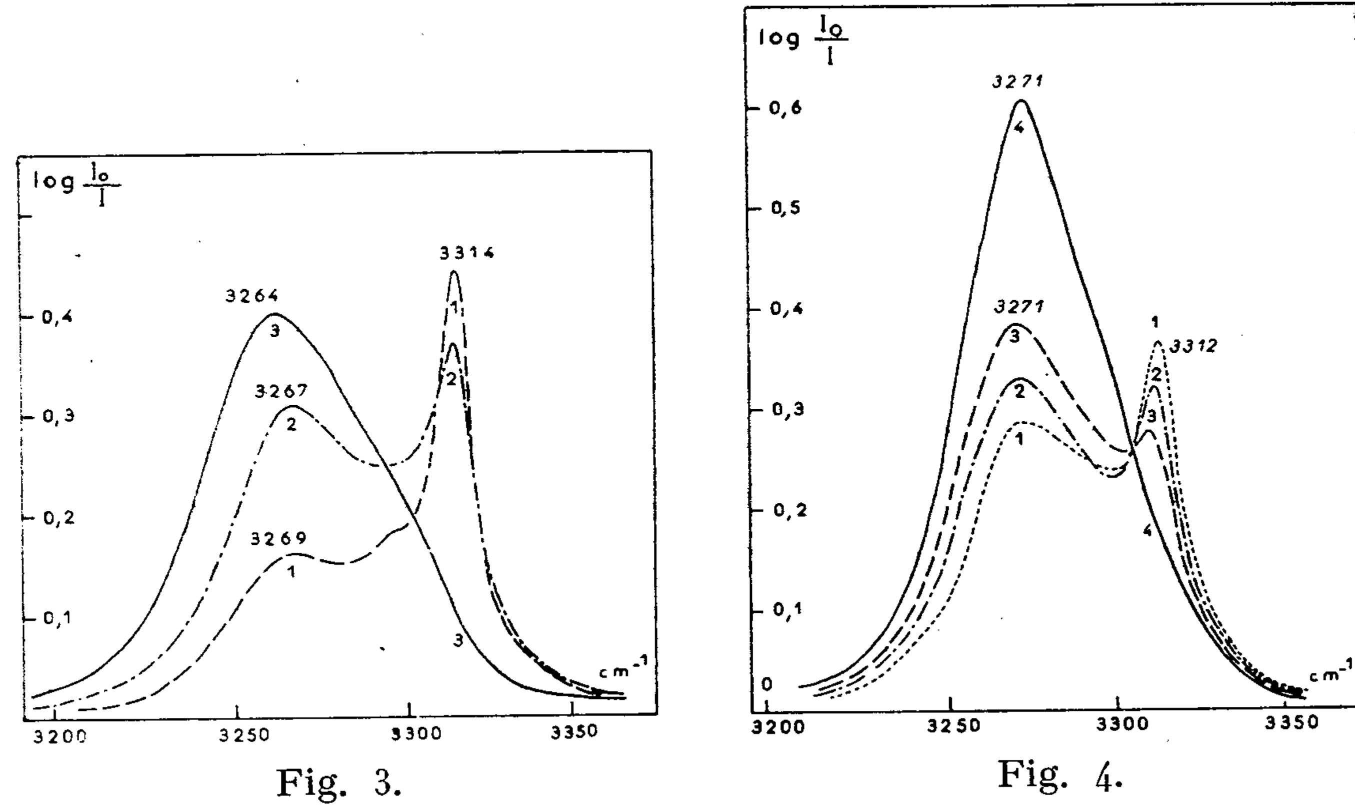


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. — Bande d'absorption $\nu_{H-C\equiv}$ de l'heptyne-1 dissous dans les éthers.
1, dans l'éther butylique; 2, dans l'éther éthylique; 3, dans le dioxane.
Concentration des solutions : 0,25 M/l; épaisseur de cuve d'absorption : 0,15 mm; spectromètre « Perkin-Elmer 112 »; prisme LiF, fente spectrale : 4 cm⁻¹.

Fig. 4. — Bande d'absorption $\nu_{H-C\equiv}$ de l'heptyne-1 dissous dans les cétones.
1, dans la dibutylcétone; 2, dans la dipropylcétone;
3, dans la diéthylcétone; 4, dans l'acétone.
Concentration : 0,25 M/l; épaisseur de cuve d'absorption : 0,15 mm; spectromètre « Perkin-Elmer 112 »; prisme LiF, fente spectrale 4 cm⁻¹.

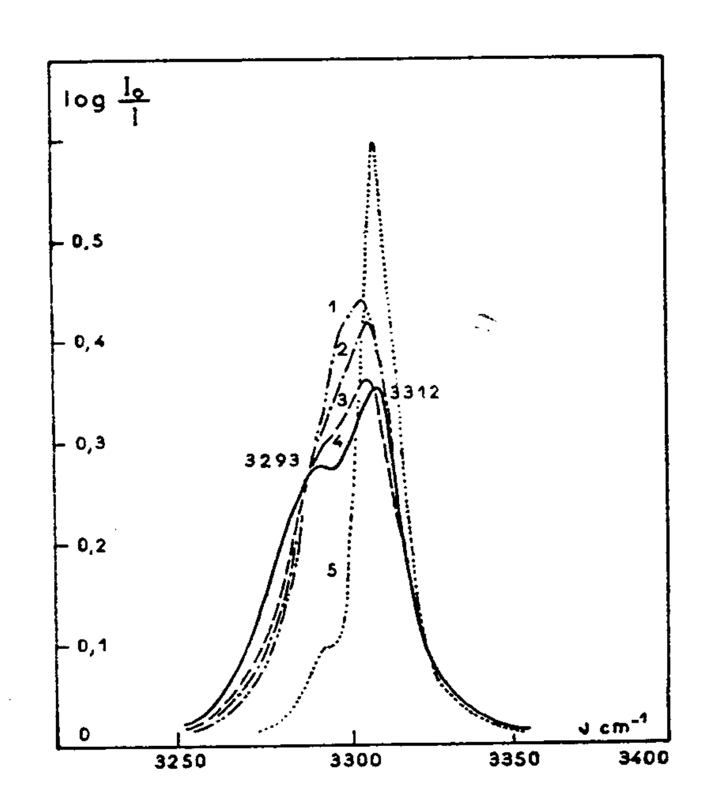


Fig. 5. — Bande d'absorption $\nu_{H-C\equiv}$ de l'heptyne-1 dissous dans les carbures aromatiques.
1, dans le benzène; 2, dans le toluène; 3, dans le 1.2-diméthylbenzène; 4, dans le 1.3.5-triméthylbenzène; 5, dans le tétrachlorure de carbone.
Concentration : 0,25 M/l; épaisseur de cuve d'absorption : 0,15 mm; spectromètre « Perkin-Elmer 112 »; prisme LiF, fente spectrale : 4 cm⁻¹.

l'évolution des deux bandes, libre et associée, est analogue. Enfin dans le cas des molécules aromatiques envisagées (*fig.* 5), sauf pour le mésitylène, on n'observe qu'une bande dont la dissymétrie prouve cependant l'existence des molécules associées; la proportion des molécules associées augmente avec la basicité des carbures (5).

Comportement du deutério-1-heptyne-1. — A première vue, la bande $\nu_{D-C\equiv}$ se comporte comme la bande $\nu_{H-C\equiv}$. Cependant, dans la molécule de deutério-1-heptyne-1, il y a couplage mécanique des vibrations $\nu_{(C\equiv C)_D}$ et $\nu_{D-C\equiv}$ de fréquence voisine et de même symétrie. Ce fait entraîne une variation de la fréquence $\nu_{(C\equiv C)_D}$ quand il y a formation de complexe moléculaire entre le deutério-1-heptyne-1 et un solvant accepteur de protons (4); cette variation ne se produit pas pour la vibration $(C\equiv C)_H$ de l'heptyne-1.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) M.-L. Josien, J. Lascombe et Pham-Van-Huong, Communication au *Congrès du G. A. M. S.*, Paris, juin 1960.

(2) D. Cook, Y. Lupien et W. G. Schneider, *Can. J. Chem.*, 34, 1956, p. 957.

(3) P. R. Schleyer, D. S. Trifan et R. Bacskai, *J. Amer. Chem. Soc.*, 80, 1958, p. 6691.

(4) J. Lascombe, *Thèse*, Bordeaux, 1960.

(5) M.-L. Josien et G. Sourisseau, *Symposium sur la Liaison Hydrogène*, Ljubljana, 1957; *Hydrogen Bonding*, Pergamon Press, 1959, p. 129.

CHIMIE DES RAYONNEMENTS. — *Comparaison de spectrogrammes de masse de l'éthylène à différentes pressions.* Note de Mme **Lydia Reinisch**, présentée par M. Georges Champetier.

Dans la spectroscopie de masse à pression élevée, la séquence de décomposition monomoléculaire de l'ion parent se trouve entravée par les réactions ion-molécule et les chocs désactivants. Le spectre de masse dans ces conditions s'arrête aux produits de décomposition premiers de l'ion parent.

Récemment a paru une étude de Melton et Rudolph [1] concernant la spectroscopie de masse de l'éthylène par particules α. Les pressions dans la chambre d'ionisation s'échelonnaient de 0,01 à 0,1 mm de mercure. Ce spectrogramme est formé en majeure partie d'ions lourds ayant une masse supérieure à celle de l'éthylène — provenant donc de réactions ion-molécule — et s'enrichit en ions lourds au fur et à mesure que la pression augmente. Ce spectre ne contient comme uniques ions de décomposition de C_2H_4 que $C_2H_3^+$ et $C_2H_2^+$. Les auteurs remarquent explicitement qu'ils n'ont observé les ions C_2^+ et C_2H^+ qu'en quantités négligeables et qu'ils ne détectent aucun ion provenant d'une réaction ion-molécule à partir de ces ions. Ce fait devient immédiatement compréhensible lorsqu'on représente, sur la base des potentiels d'apparition, la filiation des ions en spectroscopie de masse ordinaire, c'est-à-dire dans celle qui s'effectue à une pression de 10^{-5} mm de mercure (*fig.* 1).

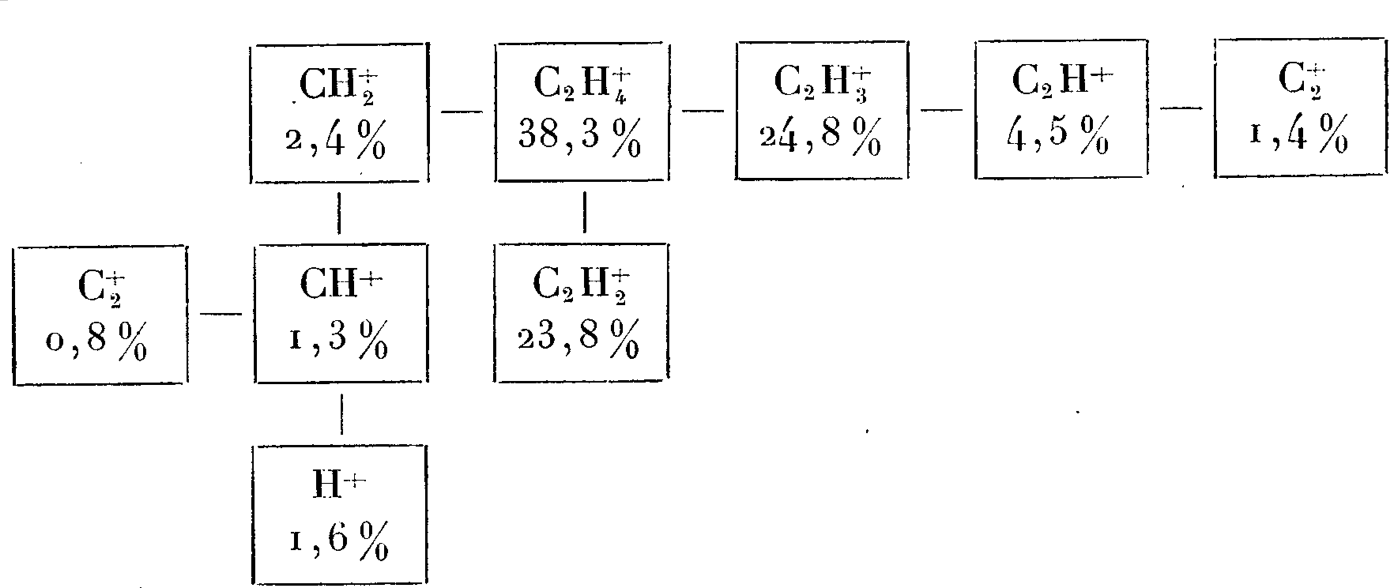


Fig. 1. — Décomposition de l'ion parent dans le spectre de masse de l'éthylène à 10^{-5} mm de mercure.

Nous voyons donc que seuls apparaissent les ions premiers de la décomposition lorsqu'il s'agit de la coupure d'une liaison simple et que la coupure de la double liaison est complètement supprimée, probablement parce qu'elle s'effectue dans un laps de temps plus long qu'une coupure de liaison simple.

Il n'est pas possible d'aboutir à une comparaison quantitative entre les spectres de Melton et Rudolph et le spectre de masse fait dans les conditions habituelles, étant donné que l'agent ionisant — particules α

dans un cas, électrons dans l'autre — n'est pas le même. Il existe par contre une étude de spectroscopie de masse par électrons à une pression supérieure à 10^{-5} mm de mercure. La valeur exacte de cette pression n'est pas connue. Les auteurs ([2]) indiquent seulement que la pression dans le réservoir était d'environ 10 mm de mercure : la pression dans la chambre d'ionisation était alors sans doute de l'ordre de 10^{-3} mm de mercure. Dans ces conditions on observe le spectre de masse suivant (*fig.* 2) :

$C_2H_4^+$ 45 %	— $C_2H_3^+$ 27,2 %	— C_2H^+ 2,7 %	— C_2^+ 0,5 %
| $C_2H_2^+$ 21,3 %			

Fig. 2. — Spectre de masse de l'éthylène vers 10^{-3} mm de mercure.

On remarque que, en ce qui concerne l'apparition des ions fragments, le spectre n° 2 se place entre le spectre n° 1 et le spectre de Melton et Rudolph : comme dans celui-ci la coupure de la double liaison n'a pas lieu; cependant la filiation de l'ion $C_2H_3^+$ n'est pas entièrement supprimée, mais seulement diminuée. L'abondance de C_2H^+ se trouve de ce fait augmentée. Entre les spectres nos 1 et 2 une comparaison quantitative est possible. Additionnons les ions provenant d'une même filiation dans les deux cas :

	Spectre n° 1.		Spectre n° 2.
1.			
$C_2H_4^+$	38,3 %		45 %
CH_2^+	2,4	$C_3H_5^+$ (*)	1
CH^+	1,3		
C^+	1,6		
H^+	0,8		
TOTAL	44,4		46
2.			
$C_2H_3^+$	24,8		27,2
C_2H^+	4,5		2,7
C_2^+	1,4		0,5
$C_2H_5^+$(**)	0,8		1,5
TOTAL	31,5		31,9
3.			
$C_2H_2^+$	23,8		21,3

(*) $C_3H_5^+$ (provenant de $C_2H_4^+ + C_2H_4 \rightarrow C_3H_5^+ + CH_3$).
(**) $C_2H_5^+$ (provenant de $C_2H_3^+ + C_2H_4 \rightarrow C_2H_5^+ + C_2H_2$).

Nous voyons donc que la somme dans chaque lignée de filiation reste constante. Ce résultat s'explique aisément si l'on admet que, dans la spectroscopie de masse à pression élevée, la décomposition monomoléculaire

de l'ion parent, considéré dans la théorie d'Eyring (3) comme un système isolé, se trouve entravée par les réactions ion-molécule et les chocs désactivants. Aux pressions envisagées ici, il semble que ce soient surtout les chocs désactivants qui arrêtent la fragmentation de l'ion parent, puisque les ions ayant une masse supérieure à 28 et provenant donc d'une réaction ion-molécule n'existent qu'en faible quantité dans le spectre n° 2.

Ainsi se trouve étayée une hypothèse que nous avons admise ailleurs dans une étude sur la radiolyse et la spectroscopie de masse (4), à savoir que l'interprétation qualitative et quantitative des effets de radiolyse est possible à partir d'une distribution initiale d'ions et de radicaux conjointement créés, qui n'est pas celle qu'on observe en spectroscopie de masse ordinaire, mais qui s'en déduit lorsqu'on arrête la cascade de décompositions monomoléculaires de l'ion parent aux produits de décomposition premiers.

(1) C. E. Melton et P. S. Rudolph, *J. Chem. Phys.*, 32, 1960, p. 1128.
(2) F. H. Field, J. L. Franklin et F. W. Lampe, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 2419.
(3) H. M. Rosenstock, A. L. Wahrhaftig et H. Eyring, *Techn. Rep.*, n° 11, Univ. Utah, Salt Lake City, 1952; M. B. Wallenstein, *Ph. D. Th.*, Univ. Utah, 1951; A. Kropf, E. M. Eyring, A. L. Wahrhaftig et H. Eyring, *J. Chem. Phys.*, 32, 1960, p. 149.
(4) L. Reinisch, à paraître dans *J. Chim. Phys.*

MÉTALLOGRAPHIE. — *Purification du cuivre par la méthode de la zone fondue.* Note (*) de M. **Jacques Le Héricy**, transmise par M. Georges Chaudron.

Le cuivre désoxydé et de haute conductibilité (O. F. H. C.) a été purifié par la méthode de la « zone fondue » en nacelle de graphite de pureté nucléaire et sous atmosphère d'argon purifié.

La nacelle subit au préalable un traitement de dégazage. Elle repose sur des galets de silice dans un tube de silice transparente où règne le vide secondaire. On la porte à 1 200-1 300° C par chauffage à haute fréquence pendant 6 h environ. En fin de traitement, on introduit dans le tube une atmosphère d'argon purifié.

Après chargement de la nacelle, on remplit l'enceinte d'argon purifié sous une pression de 60 cm de mercure environ. Des copeaux de zirconium sont chauffés au rouge pour purifier une dernière fois l'atmosphère.

Au moyen d'un chauffage par courant de haute fréquence, on obtient en tête du lingot (longueur, 38 cm; section, 2,5 cm^2) une zone fondue d'environ 35 mm de longueur qu'on déplace vers l'autre extrémité à la vitesse de 32 mm/h, en faisant progresser le tube de silice transparente dans l'enroulement inducteur fixe.

Après six passages de la zone fondue, le lingot est sorti pour prélever des échantillons. La purification est suivie par la mesure de la résistance électrique relative, à la température de l'hydrogène liquide et à la température de 20° C, des divers échantillons recuits à 500° C sous vide secondaire après laminage [1] (tableau I).

Tableau I.

Valeurs du rapport $\rho_H = (R_{H_2}/R_{20^\circ C})$ *pour les bandes de* 40/100e *de millimètre d'épaisseur.*

Cuivre O. F. H. C.	Cuivre de zone fondue, six passages (la tête du lingot est prise pour origine).		
	1-2 cm	16-17 cm	36-37 cm (queue)
70.10^{-4}	$54,2.10^{-4}$	$50,5.10^{-4}$	605.10^{-4}

On peut constater qu'on obtient une purification du métal d'origine. Le rapport ρ_H étant plus élevé en tête qu'au milieu du lingot, on peut penser qu'il y a ségrégation en tête du lingot d'une impureté à diagramme inverse, dont le coefficient de partage entre le solide et le liquide est supérieur à 1. Par ailleurs, la queue du lingot apparaît très impure, ce qui confirme la micrographie, qui révèle un véritable alliage.

Un deuxième lingot purifié dans les mêmes conditions donne un métal de pureté très voisine.

La mise en évidence d'une ségrégation inverse de certaines impuretés nous a conduit à prendre les parties centrales de ces deux lingots, pour en former un troisième, destiné à être purifié par « zone fondue » dans les mêmes conditions. Après six passages de la zone fondue, des échantillons sont prélevés tout au long du lingot, laminés et tréfilés à la température ambiante en fils de 1 mm de diamètre environ. Ces fils sont recuits à 500° C sous vide secondaire de 10^{-4} à 10^{-5} mm de mercure. La variation de la résistance relative $\rho_H = (R_{H_2}/R_{20°C})$ en fonction de la position de la prise, comptée

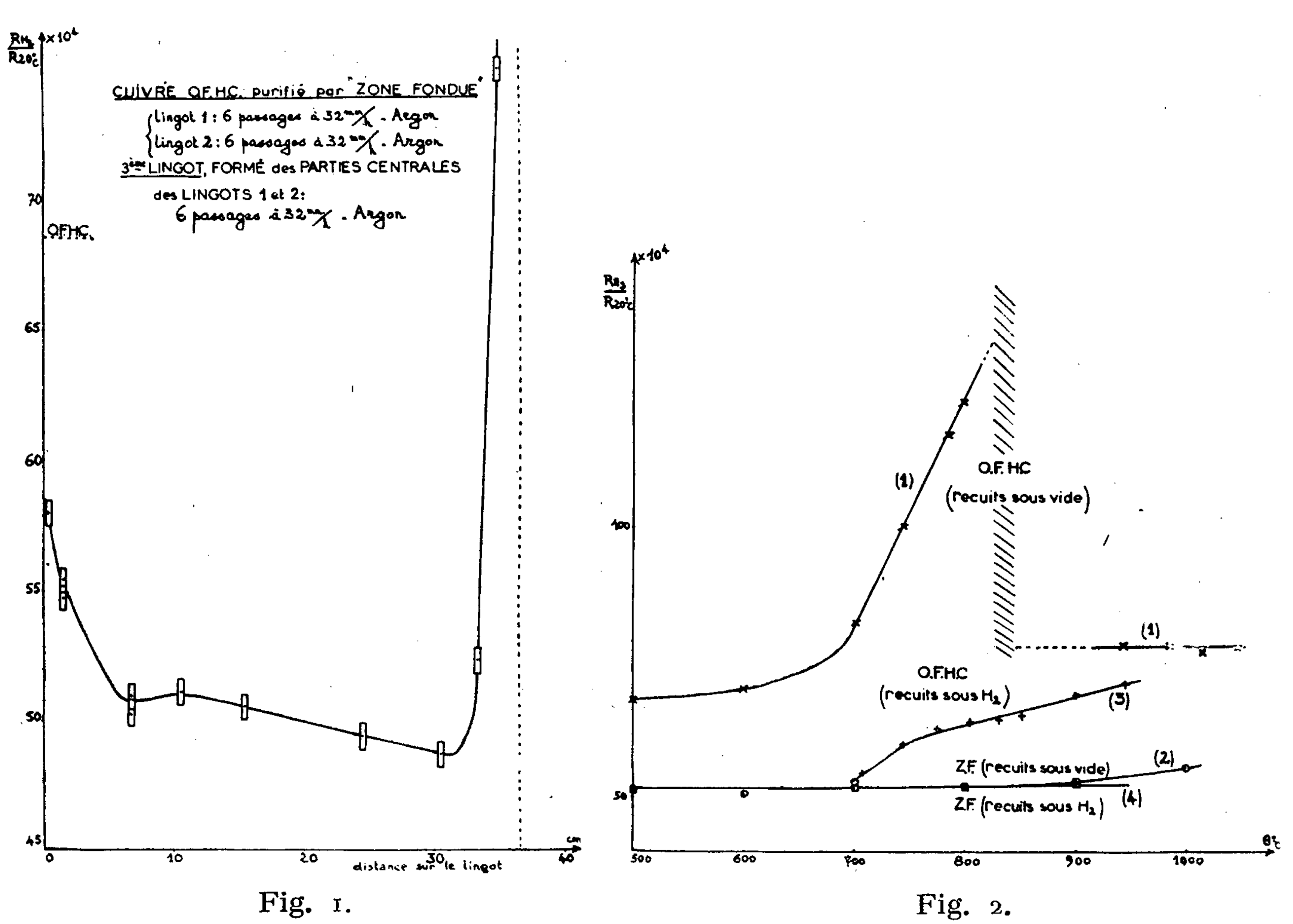


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1. — Variation de la résistance électrique relative, à la température de l'hydrogène liquide et à 20° C [$\rho_H = (R_{H_2}/R_{20°C})$] le long du troisième lingot de zone fondue.

Fig. 2. — Variation de $\rho_H = (R_{H_2}/R_{20°C})$ en fonction de la température des traitements de recuits sous vide de 10^{-4}-10^{-5} mm Hg ou sous hydrogène, pour le cuivre O. F. H. C. et pour le cuivre de zone fondue (Z. F.). Fils de 1 mm de diamètre.

depuis la tête du lingot, est représentée sur la figure 1. On note que ρ_H diminue de la tête vers la queue du lingot : ceci confirme nos précédentes remarques; nous pensons qu'il s'agit de la ségrégation inverse du fer vers la tête du lingot [2]. On constate par ailleurs, que la valeur moyenne de la résistance relative est sensiblement la même que celle des deux lingots primitifs. Ce deuxième traitement de « zone fondue » n'a donc pas amélioré la pureté du métal, bien que les échantillons de queue du lingot, présentent une résistance relative plus élevée que le reste du lingot, indiquant un rassemblement d'impuretés. Nous pensons, avec d'autres auteurs [3],

que la purification est limitée par l'introduction dans le métal fondu d'impuretés provenant de la nacelle, que la zone fondue draine vers la queue du lingot.

Nous avons comparé la résistivité électrique à basse température du métal d'origine et du métal purifié par « zone fondue », sur des fils recuits entre 500 et 1 050° C sous vide poussé (10^{-4}-10^{-5} mm Hg) ou sous courant d'hydrogène pur et sec (*fig.* 2). Pour des recuits sous vide, la variation de ρ_H avec la température du recuit montre que des impuretés entrent progressivement en solution solide dans le cuivre O. F. H. C. et qu'au-dessus de 830° C environ le métal se purifie. Au-dessus de cette température, chaque fil a été recuit à une température déterminée jusqu'à ce que ρ_H ne varie plus avec le temps (courbe 1).

Par contre, dans les mêmes conditions, on n'observe qu'une très faible augmentation de ρ_H avec la température du recuit dans le cas du cuivre de zone fondue (courbe 2).

Un recuit sous hydrogène purifie le cuivre O. F. H. C. Chaque fil, brut d'écrouissage, est recuit à une température déterminée jusqu'à ce que ρ_H reste constant avec le temps. La courbe 3 donne la variation de ces valeurs finales en fonction de la température du recuit, et de sa position par rapport à la courbe 1, on peut conclure que l'hydrogène a éliminé des impuretés métalloïdiques.

Le cuivre de « zone fondue », par contre, ne se purifie pas sous hydrogène et la courbe 4, relative à ces recuits, est très voisine de celle des recuits sous vide (courbe 2).

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) M. CARON, *Thèse*, Paris, 1955; M. WINTENBERGER, *Thèse*, Paris, 1958.

(2) E. D. TOLMIE et D. A. ROBINS, *J. Inst. Metals*, 85, 1956-1957, p. 171.

(3) J. E. KUNZLER et J. H. WERNICK, *Trans. A. I. M. E.*, 212, décembre 1958, p. 856-860.

(*Laboratoire de Vitry du C. N. R. S.*)

MÉTALLOGRAPHIE. — *Sur les cémentites substituées simultanément au chrome, molybdène et manganèse dans les aciers à bas carbone faiblement alliés.* Note (*) de MM. **Laszlo Bäcker**, **Roland Bigot** et **Eugène Herzog**, présentée par M. Georges Chaudron.

Les aciers à résistance élevée renferment des additions de chrome, molybdène et manganèse. Une partie de ces éléments se trouve fixée, soit dans la cémentite, soit sous forme de carbures spéciaux. Nous avons cherché à connaître l'évolution des cémentites substituées dans ces aciers faiblement alliés après différents traitements thermiques (tableau I) afin de préciser la limite de solubilité du chrome, molybdène et manganèse dans ce carbure.

Tableau I.

	Nuance.	Composition de l'acier C.	Mn.	Cr.	Mo.	Traitements thermiques.
A...	C-Cr	0,22	0,51	3,65	–	T. E. 1050°C + Rv 500°C 2 h T. A. T. E. 1050°C + Rv 550°C 2 h T. A.
B...	C-Mo	0,14	0,35	–	0,62	Non 900°C + Rv 700°C 2 h T. A. » 900°C + Rv 700°C 48 h T. A.
C...	C-Cr-Mo	0,16	0,51	2,03	0,36	» 900°C + Rv 700°C 2 h T. A. » 900°C + Rv 750°C 2 h T. A.
D...	C-Mn	0,25	2,08	–	–	» 850°C + Rv 650°C 48 h T. A. » 850°C + Rv 700°C 48 h T. A.
E...	C-Mn C-Mn-Mo	0,25 0,22	2,08 2,06	– –	– 0,21	» 850°C + Rv 700°C 2 h T. A.
F...	C-Mn	0,155	1,48	–	–	» 950°C + Rv 700°C 2 h T. A.
	C-Mn-Cr-Mo	0,185	1,62	1,60	0,135	» 875°C + Rv 700°C 2 h T. A. » 875°C + Rv 700°C 2 h T. E.

Non : normalisation; T. A. : trempe air; T. E. : trempe eau; Rv : Revenu.

Nous avons pu isoler les carbures par le procédé de séparation électrolytique [1] et nous avons étudié leur nature au moyen d'analyses chimiques et par diffraction des rayons X. Les principaux résultats sont groupés dans le tableau II.

Nous avons constaté les faits suivants :

— La teneur en chrome de la cémentite peut atteindre 20 % en poids, au-delà, la cémentite se décompose et il se forme un carbure plus riche en chrome de formule $(Cr, Fe)_7C_3$ (A).

— La teneur maximale en molybdène de la cémentite est de l'ordre de 9 %. Les phases carbures extraites, plus riches en molybdène, sont des carbures spéciaux (MoC, Mo_2C, MoCγ) (B).

— Dans les aciers au chrome-molybdène, la présence de chrome dans la cémentite abaisse la limite de solubilité du molybdène; parallèlement une teneur en molybdène de 4 à 5 % fait passer la teneur maximale possible en chrome de 18-20 % à 12-14 % (C).

— La solubilité du manganèse dans la cémentite peut atteindre des valeurs plus élevées que celles du chrome et du molybdène, sans qu'on observe de décomposition de celle-ci (D).

TABLEAU II.

	Composition des carbures extraits au pour-cent de poids.					Phases identifiées par diffraction des rayons X et par analyses chimiques.
	C.	Mn.	Cr.	Mo.	Fe.	
A...	6,7	2,9	19,2	–	71,2	$(Fe, Cr)_3C$
	8,9	2,9	28,8	–	59,4	$(Cr, Fe)_7C_3 + (Fe, Cr)_3C$
B...	6,9	1,6	–	8,8	84,3	$(FeMo)_3C$
	4,5	1,5	–	22,1	71,2	$Mo_2C + (FeMo)_3C$
C...	6,7	2,9	8,4	7,5	74,5	$(Fe, Cr, Mo)_3C$
	7,3	2,7	11,0	9,1	69,9	$(Fe, Cr, Mo)_3C + M_7C_3$
D...	6,6	17,8	–	–	74,7	$(Fe, Mn)_3C$
	6,7	22,5	–	–	70,0	$(Fe, Mn)_3C$
E...	6,6	13,0	–	–	80,4	$(Fe, Mn)_3C$
	6,7	13,0	–	6,5	73,8	$(Fe, Mn, Mo)_3C$
F...	6,8	10,2	–	–	83,0	$(Fe, Mn)_3C$
	7,1	10,0	10,6	5,1	67,3	$(Fe, Mn, Cr, Mo)_3C$
	7,6	10,1	13,6	0,4	64,3	$(Fe, Mn, Cr, Mo)_3C + M_7C_3$ (traces)

— La teneur en manganèse de la cémentite d'un acier à 2 % de manganèse est identique à celle d'acier à 2 % de manganèse contenant en outre, soit du chrome, soit du molybdène et ayant subi le même traitement thermique (E) et (F).

Ces faits nous conduisent à admettre que le manganèse se conduit de manière différente du chrome et du molybdène dans la cémentite des aciers et que ces deux derniers ont par contre une action complémentaire. Le schéma proposé par A. Michel [2], concernant les liaisons dans la cémentite (*fig.* 1), nous montre que 25 at. % de fer occupent la position I. Les travaux de A. Michel et ses collaborateurs [3] nous enseignent d'autre part que dans la cémentite préparée par synthèse, le molybdène occupe les positions I.

Nous pensons que dans le cas des aciers étudiés le chrome et le molybdène occupent bien conjointement ces positions I, et que la transformation de la cémentite survient lorsque toutes les positions I sont occupées, d'où la limite de solubilité d'environ 25 at. %. Pour expliquer l'indépendance de la teneur en manganèse à l'égard de celle du chrome et du molybdène

et sa limite de solubilité plus élevée, nous supposons alors que le manganèse occupe les positions II.

La cémentite pure Fe_3C, ordinairement très ferromagnétique, perd son magnétisme lorsqu'on remplace les atomes de fer par des atomes tels que

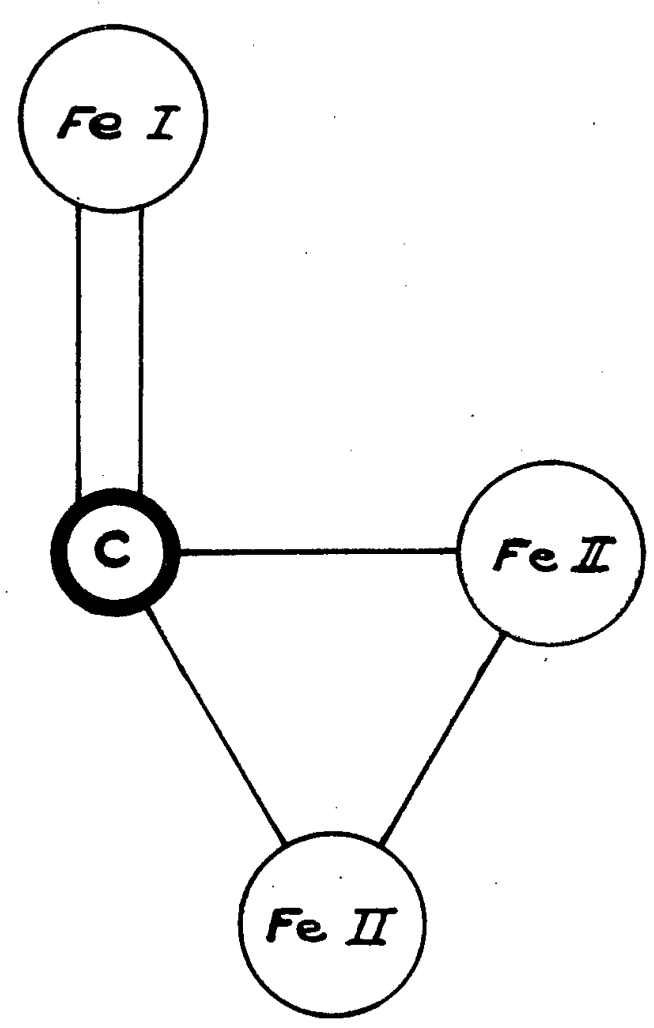


Fig. 1. — Schéma des liaisons dans la cémentite suivant A. Michel (2).

le manganèse, le chrome et le molybdène dont l'action est ici sensiblement identique. Il semble que la concentration en fer dans la cémentite soit le facteur déterminant pour les propriétés magnétiques ; la position des substituants, ne joue qu'un rôle secondaire.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) W. Koch et H. Sundermann, *Radex-Rundschau*, nos 5-6, 1957, p. 679-692.

(2) A. Michel, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1528-1530.

(3) B. Osdoit, *Thèse*, Lille, 18 février 1959; *Mémoires Scientifiques Rev. Métallurgie*, 57, no 3, 1960, p. 194-202.

(*Centre de Recherches des Aciéries de Pompey.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Contribution à l'étude de la réaction à l'haloforme. Existence d'une réaction de transposition parallèle.* Note de Mmes **Micheline Charpentier** et **Arlette Skrobek**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'étude de l'action des hypohalogénures de sodium sur la cyclohexyl-méthyl-cétone a montré qu'il existe, en compétition avec la réaction à l'haloforme une réaction de transposition conduisant à un α-hydroxyacide. L'influence de la nature du réactif et des conditions expérimentales sur la prépondérance de l'une ou de l'autre de ces deux réactions est discutée.

Au cours de l'étude que nous poursuivons sur l'énolisation des cétones en milieu alcalin, nous avons été amenées à effectuer le test à l'iodoforme (selon la technique courante, celle de Fuson) sur la cyclohexyl-méthyl-cétone (I).

C_6H_{10} — CO—CH_3, H

(I)

Nous avons été d'autant plus surprises de constater la négativité de ce test que les causes connues de l'échec d'une réaction à l'haloforme font intervenir l'empêchement stérique créé par le radical situé en α du carbonyle de la cétone méthylée [1], [2]. Or, le radical cyclohexyle ne crée pas d'encombrement stérique dans la cétone (I).

Ayant constaté que la cétone (I) subit une transformation au sein du milieu réactionnel, il nous a paru intéressant d'approfondir l'étude de son comportement, en examinant notamment la nature des composés obtenus suivant le réactif et les conditions expérimentales utilisées. A cette fin nous avons utilisé deux méthodes, l'une celle de Fuson [3] sans excès d'hypohalogénure avec trois fois la quantité théorique de soude, l'autre celle de Morgan, Bardwell et Cullis [4] avec un excès d'hypohalogénure (50 %) et sept fois la quantité théorique de soude. Il faut noter que dans ces dernières conditions l'haloforme ne peut être isolé. En effet, les différents haloformes dans ce milieu se transforment en tétrahalogénures [5].

Réactifs.	Méthodes et conditions de la réaction.		Acides obtenus % (*) C_6H_{11}—COOH.	C_6H_{11}—CHOH—COOH.
IONa	Fuson :	4 h à 60°	0 (**)	42
	Morgan :	2 h à 25°	32	26
BrONa	Fuson :	3 h à 25°	62	6
	Morgan :	1 h 30 mn à 25°	87	8
ClONa	Morgan :	1 h 30 mn à 25°	50	9

(*) Dans toutes ces expériences une fraction plus ou moins importante de cyclohexyl-méthyl-cétone a été récupérée.

(**) Dans les conditions d'isolement utilisées, nous n'avons pas mis le composé en évidence.

Les expériences effectuées et résumées dans le tableau montrent l'existence d'une réaction compétitive conduisant non pas à l'acide de coupure mais à un α-hydroxyacide : l'acide cyclohexyl-glycolique. Il est frappant de constater que cette dernière réaction peut devenir *exclusive* dans le cas de l'action de *l'hypoiodite*. A notre connaissance, l'existence de cette réaction parallèle n'a été signalée que dans trois cas, celui de la pinacoline (6) et ceux des α,α-dibromoacétophénone et α-bromo α-chloroacétophénone (7) lors de l'action de l'hypobromite. Les auteurs ont obtenu (comme nous du reste avec ce réactif) l'acide α-hydroxylé avec un rendement de l'ordre de 10 %, à côté de l'acide de coupure. Ce dernier acide provient certainement d'une transposition du type benzilique ou de Favorski résultant de l'action de la soude sur la cétone dihalogénée intermédiaire (A) qui se forme dans les conditions de la réaction à l'haloforme :

$$R-CO-CH_3 \xrightleftharpoons{XOH(NaOH)} R-CO-CH_2X$$

$$R-CO-CH_2X \xrightleftharpoons{XOH(NaOH)} \underset{(A)}{R-CO-CHX_2}$$

$$\underset{(A)}{\boxed{R-CO-CHX_2}} \left\{ \begin{array}{l} \text{voie } a \rightleftharpoons \underset{(B)}{R-CO-CX_3} \xrightarrow{NaOH} R-COOH + CHX_3 \\ \text{voie } b \xrightarrow[NaOH]{} R-CHOH-COOH \end{array} \right.$$

$$X = Cl, Br \text{ ou } I.$$

La cétone diiodée, isolée au cours d'une de nos expériences sur la cyclohexyl-méthyl-cétone (où un défaut d'iode a été utilisé) chauffée en présence de soude aqueuse conduit effectivement à l'acide cyclohexyl-glycolique. Richard et Langlais (6) ont également constaté que la pinacoline α, α-dibromée chauffée en présence de soude aqueuse conduit exclusivement à l'acide triméthyl lactique.

Au cours de la réaction à l'haloforme, une compétition est donc susceptible de s'établir entre les voies *a* et *b*. Le fait que la réaction transpositrice (voie *b*) est particulièrement favorisée par l'hypoiodite de sodium peut être attribué à la position de l'équilibre (A) $\rightleftharpoons$ (B) qui serait en défaveur de la cétone triiodée. Il est en effet bien connu qu'une base arrache plus facilement l'halogène positif des cétones iodées que des cétones bromées ou chlorées (8). Il n'est pas exclu cependant que la transformation de la cétone diiodée en acide α-hydroxylé soit plus rapide que celle de la cétone dibromée.

Quant au fait que les conditions réactionnelles utilisées par Morgan, Bardwell et Cullis (notamment un grand excès de soude) favorisent la voie *a* par rapport à la voie *b*, il s'explique d'après les raisons mêmes données par ces auteurs (4) : un tel excès, en effet, retarde la décomposition du réactif halogénant et augmente la vitesse de la coupure de la cétone trihalogénée.

PARTIE EXPÉRIMENTALE. — *Action de* IONa *sur la cyclohexyl-méthyl-cétone* (*méthode de Fuson*). — 12,6 g (0,1 mol) de cétone sont mélangés à une solution alcaline d'hypoiodite de sodium (0,8 mol de soude, 0,6 at. d'iode, 140 g de IK et 300 ml d'eau). Le mélange réactionnel est chauffé avec une agitation vigoureuse 4 h à 50° (à température ambiante la cétone ne subit pas de transformation). On sépare les fractions neutre et acide de la manière habituelle en prenant la précaution d'ajouter un peu de bisulfite de sodium pour décolorer la solution acide. La fraction acide donne 5,5 g d'acide cyclohexyl-glycolique (identique à un échantillon authentique). Les eaux acides évaporées donnent encore 1 g de cet acide.

Remarque. — Dans les expériences où la fraction acide est constituée par un mélange, l'acide de coupure soluble dans l'hexane est séparé de l'acide α-hydroxylé très peu soluble.

Action de IONa *sur la cyclohexyl-méthyl-cétone* (*méthode de Morgan*). — 0,04 mol de cétone sont mélangées à 70 ml de lessive de soude (0,7 mol). Une solution de 0,35 at. d'iode et 90 g de IK dans 450 ml d'eau est alors additionnée goutte à goutte. Toujours avec une agitation vigoureuse e mélange réactionnel est laissé à la température ambiante 2 h à partir du début de l'addition, puis traité comme précédemment.

(1) M. CHARPENTIER, H. RIVIÈRE, A. SKROBEK et B. TCHOUBAR, *Bull. Soc. Chim.*, 1960, p. 1444.

(2) R. JOHNSON et R. C. FUSON, *J. Amer. Chem. Soc.*, 57, 1935, p. 919.

(3) R. C. FUSON et B. A. BULL, *Chem. Rev.*, 15, 1934, p. 275.

(4) K. J. MORGAN, J. BARDWELL et C. F. CULLIS, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 3190.

(5) J. F. DURAND, *Bull. Soc. Chim.*, 41, 1927, p. 1251.

(6) A. H. RICHARD et P. LANGLAIS, *Bull. Soc. Chim.*, (4), 7, 1910, p. 464.

(7) J. G. ASTON, J. D. NEWKIRK, J. DORSKY et D. M. JENKINS, *J. Amer. Chem. Soc.*, 64, 1942, p. 1413.

(8) Bibliographie *in* B. TCHOUBAR, *Bull. Soc. Chim.*, 1955, p. 1363.

(*C. N. R. S., 25, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14e.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur quelques dérivés et propriétés du ferrocènealdéhyde de l'aminoferrocène et de l'iodoferrocène.* Note de MM. **Jacques Boichard** et **Jean Tirouflet**, présentée par M. Marcel Delépine.

Préparation de chalcones, chromanones et aldimines dérivés du ferrocènea-aldéhyde. Produits de condensation du ferrocènealdéhyde et des dérivés homophtaliques. Polarographie de l'amino- et de l'iodoferrocène.

Le greffage de motifs vinyliques sur le ferrocène est aisément réalisable par condensation du ferrocènealdéhyde sur les composés à méthylène actif. Nous avons réalisé la synthèse de composés des types I et II en condensant des cétones, des dérivés homophtaliques et l'indanedione.

Chalcones (I). — La condensation des cétones en milieu alcalin conduit à des chalcones dont nous avions déjà signalé quelques types ([1]). Les ferrocényl-1 alcoyl-3 propène-1 one-3 (I; R variable) suivantes ont également pu être préparées.

Cétone condensée.	R.	Chalcone obtenue.	F(°C).
Acétyl-2 pyridine	COC_5H_4N	$(C_{18}H_{15}ONFe)$	157-158
m.nitroacétophénone	$COC_6H_4NO_2$	$(C_{19}H_{15}O_3NFe)$	149
Acétyl-3 thionapthène	COC_8H_5S	$(C_{21}H_{16}OSFe)$	191-192
Acétylferrocène	$COC_{10}H_9Fe$	$(C_{23}H_{20}OFe_2)$	α 198 β 210

Le diferrocényl-1.3 propène-1 one-3 présente deux points de fusion, mais nous n'avons pu établir s'il s'agit d'un cas d'isomorphisme ou d'une transformation stéréochimique.

Le ferrocényl-1 *o*-hydroxyphényl-3 propène-1 one-3 ([2]) chauffé en présence d'acétate de sodium conduit à la ferrocényl-2 chromanone-4 (IV) F 136° (orangé). Cette chromanone a été séparée du chalcone mère par chromatographie sur alumine.

Condensation du ferrocènealdéhyde avec les dérivés homophtaliques. — La recherche de couples d'isomères géométriques nous a conduit à préparer les produits de condensation du ferrocènealdéhyde avec les N-alcoyl-homophtalimides, l'anhydride homophtalique et l'indanedione. L'un de nous a en effet montré ([3]) que certains dérivés analogues peuvent être isolés sous deux formes dans les cas favorables. Les dérivés obtenus répondent à la structure (II), R′ étant un reste homophtalique ou dérivé de l'indanedione :

Dérivé condensé.	R′.	Produit obtenu.	F(°C).
Homophtalimide	$C_8H_5O_2N$	$(C_{20}H_{15}O_2NFe)$	240
N-méthylhomophtalimide	$C_9H_7O_2N$	$(C_{21}H_{17}O_2NFe)$	182
N-éthylhomophtalimide	$C_{10}H_9O_2N$	$(C_{22}H_{19}O_2NFe)$	223
N-phénylhomophtalimide	$C_{14}H_9O_2N$	$(C_{26}H_{19}O_2NFe)$	234
Anhydride homophtalique	$C_8H_4O_3$	$(C_{20}H_{14}O_3Fe)$	189
Indanedione	$C_8H_4O_2$	$(C_{20}H_{14}O_2Fe)$	168

Ces dérivés sont fortement colorés en violet foncé. Ils n'ont pu être obtenus que sous une seule forme stéréochimique.

Aldimines dérivés du ferrocènealdéhyde (III). — La condensation du ferrocène aldéhyde avec des amines aromatoïdes convenables en solution alcoolique à 0° conduit aux aldimines (III) dont aucun représentant n'avait encore été signalé :

Aldéhyde condensée.	R″.	Imine obtenue.	F(°C).
Aniline	C_6H_5	$(C_{17}H_{15}NFe)$	77
α-naphtylamine	$C_{10}H_7$	$(C_{21}H_{17}NFe)$	128
β-naphtylamine	$C_{10}H_7$	$(C_{21}H_{17}NFe)$	106
Amino-2 thiazol	C_3H_2NS	$(C_{14}H_{12}N_2SFe)$	128

Polarographie de l'amino- et de l'iodoferrocène. — Les vagues *anodiques* de l'aminoferrocène, préparé selon Nesmeyanov [4], et de son dérivé acétaminé, sont facilement observables sur cathode de mercure [$E_{1/2}$: (alcool 50 %; $HClO_4$ 0,5 N) FcH, + 0,20; $FcNHCOCH_3$, + 0,18; $FcNH_2$, + 0,22; (alcool 50 %; KNO_3 0,1 M) FcH, + 0,20; $FcNHCOCH_3$, + 0,22; $FcNH_2$, + 0,03 (volts E. C. S.].

La vague *anodique* de l'iodoferrocène [5] est masquée par l'oxydation du mercure mais la vague *cathodique* de l'halogène apparaît avant le sel de fond. Toutefois la réduction est plus difficile que pour l'iodobenzène et ce résultat est une nouvelle manifestation de la différence des deux squelettes supports vis-à-vis des attaques *nucléophiles*.

CH=CHR — I; CH=NR″, Fe — III; CH=C⟨R′ — II; CH, CH₂, C=O, C=O, Fe — IV

I II III IV

Nous avons tenté de mettre en évidence par analyse polarographique la formation du sel de diazonium de l'aminoferrocène qui n'a pas encore pu être préparé. Une solution d'aminoferrocène dans l'acide sulfurique est versée dans une solution équimoléculaire de nitrite de sodium et l'on polarographie immédiatement la solution obtenue. Elle présente un polarogramme analogue à celui obtenu dans les mêmes conditions à partir de l'aniline. Ce résultat ne permet cependant pas de conclure à la présence d'un sel de diazonium car tous les dérivés du ferrocène montrent, après oxydation, des vagues cathodiques analogues à celle observée [1]. Cette morphologie indique plus vraisemblablement une oxydation de la molécule.

Enfin, par condensation de l'aminoferrocène sur le thiophène-aldéhyde-2, nous avons préparé le thiophénylène-ferrocénylamine $C_{15}H_{13}NSFe$, F 129°.

([1]) J. Tirouflet et J. Boichard, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1861.
([2]) K. Schlogel, *Monatsh. Chem.*, 88, 1957, p. 601.
([3]) J. Tirouflet et Y. Soufi, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3568.
([4]) A. N. Nesmeyanov, E. G. Perevalova, R. G. Golovnya et L. S. Shilovtseva, *Dokl. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 102, 1955, p. 535.
([5]) A. N. Nesmeyanov, E. G. Perévalova et O. A. Nesmeyanova, *Dokl. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 100, 1955, p. 1099.

(*Faculté des Sciences, Dijon.*)

CRISTALLOGRAPHIE. — *Étude préliminaire de la structure cristalline du bichlorhydrate de 3-picolylamine.* Note de Mlle **Françoise Genet**, présentée par M. Jean Wyart.

Le bichlorhydrate de 3-picolylamine appartient au groupe de recouvrement n° 14 P $2_1/c$. La maille a pour paramètres : $a=4{,}59$ Å $\pm 0{,}02$ Å; $b=12{,}65$ Å $\pm 0{,}05$ Å; $c=14{,}80$ Å $\pm 0{,}05$ Å; $\beta=94\pm 1°$, et contient 4 mol. On précise la position des atomes de chlore.

Les cristaux de chlorhydrate de 3-picolylamine

$$C_5H_4N{-}CH_2NH_2,\ 2\,HCl$$

ont été obtenus par refroidissement lent d'une solution aqueuse chlorhydrique. Ils ont la forme d'aiguilles ou de plaquettes minces; ils sont très hygroscopiques, et n'ont pu être étudiés qu'en atmosphère desséchée ou recouverts de vaseline.

Ils appartiennent au système monoclinique. Les paramètres de la maille et la valeur de l'angle β ont été mesurés sur des diagrammes de cristal oscillant effectués avec les radiations CuK_α et MoK_α autour des trois arêtes de la maille et sur les diagrammes de Weissenberg des strates $0kl$ et $h0l$. On a ainsi obtenu les résultats suivants :

$$a=4{,}59\ \text{Å}\pm 0{,}02\ \text{Å};\qquad b=12{,}65\ \text{Å}\pm 0{,}05\ \text{Å};\qquad c=14{,}80\ \text{Å}\pm 0{,}05\ \text{Å};$$
$$\beta=94\pm 1°.$$

L'étude du réseau réciproque montre que les réflexions $h0l$, $0k0$ sont systématiquement absentes quand $l=2n+1$ et $k=2n+1$; on en déduit le groupe de recouvrement P $2_1/c$. La valeur de la densité mesurée (D = 1,42 g/ml) est en accord avec la densité théorique (D_x = 1,40 g/ml). La maille contient 4 mol; ces molécules sont en position générale.

L'interprétation des projections du diagramme de Patterson obtenues parallèlement aux directions [100] et [010] a permis de déterminer la position des atomes de chlore. ($x_1=0{,}159$; $y_1=0{,}012$; $z_1=0{,}123$; $x_2=0{,}909$; $y_2=0{,}353$; $z_2=0{,}101$.)

En appliquant la méthode de l'atome lourd à la projection parallèle à la rangée [100] on a obtenu une carte de densité électronique suffisamment nette pour situer approximativement les atomes légers dans le plan de projection y, z. Les coordonnées atomiques dans la troisième direction (x) ont été déterminées par application d'une méthode de moindres carrés aux plans $1kl$.

Le facteur R obtenu après sept cycles de calcul est égal à 0,22 pour la projection $0kl$. L'affinement par la méthode des moindres carrés appliquée à l'ensemble des réflexions hkl mesurables avec la radiation K_α du cuivre est en préparation.

L'assemblage des atomes de chlore laisse des cavités en forme de canaux parallèles à *a*. Au centre de ces canaux se trouvent les noyaux pyridiniques de la molécule organique; ils sont peu inclinés sur le plan (100). L'atome d'azote tertiaire du noyau pyridinique est lié à un seul chlore; l'atome d'azote de la fonction amine primaire est lié à trois atomes de chlore.

L'étude cristallographique des chlorhydrates de 2 et 4-picolylamines qui cristallisent respectivement dans les systèmes monoclinique et triclinique est en cours.

GÉOLOGIE. — *Découverte de traces de pas de Dinosauriens dans le Crétacé du Spitzberg.* Note (*) de M. **Albert F. de Lapparent**, transmise par M. Pierre Pruvost.

A l'occasion de la XXIe session, en Scandinavie, du Congrès géologique international, une excursion géologique était organisée au Spitzberg sous la direction de MM. A. Heintz et T. Winsnes. Le 3 août 1960, on visitait, à l'entrée de l'Isfjord, la coupe classique de Festningen, qui montre une série continue du Carbonifère à l'Eocène ([1]). Notre attention fut attirée par les couches continentales du Crétacé inférieur, bien exposées à l'entrée du Grönfjord, par 13° 57 de longitude Est et 78° 06 de latitude Nord. La série continentale débute brusquement par un gravier quartzeux, passant à un grès blanc; elle se poursuit par des alternances de grès et de schistes noirs à végétaux (*Elatides*, *Pityophyllum*, *Gingko*) avec des couches charbonneuses. Elle repose sur le Valanginien marin et comporte à sa partie supérieure, des intercalations marines à coquilles de l'Aptien : elle correspond donc à une partie du Wealdien anglais.

Examinant une dalle verticale d'environ 7×5 m, au bord de la mer, sous le signal de Festningsodden ([2]) nous y aperçûmes des traces de pas de grande taille. La dalle, exposée au Nord-Est, forme la couche supérieure du grès de Festningen (= Festungssandstein). Le grès gris, un peu argileux, est perforé de nombreuses racines; il s'agit sans doute de sédiments déposés en bordure de marécages.

Les empreintes conservées sont au nombre de neuf, mais il y en a très probablement d'autres au Sud-Est, où les traces disparaissent sous des strates superposées. On distingue une piste Sud Est-Nord Ouest, avec sept traces alternantes. Deux empreintes moins bonnes appartiennent à une autre piste qui croise la première. Nous n'avons pas vu de trace de queue. Les empreintes sont tridactyles. Les deux meilleures, bien complètes, mesurent 68 cm de long et 60 cm de plus grande largeur. L'enjambée entre deux pas du même pied atteint presque 2 m; mais elle est un peu moindre dans la partie sud-est de la dalle.

A quel animal attribuer ces empreintes ?

Il s'agit sûrement d'un Dinosaurien bipède, avec un membre postérieur à trois gros doigts. Mais on peut hésiter entre deux groupes différents, les Théropodes ou les Ornithopodes. La très grande taille des empreintes ferait d'abord songer à l'un des grands Théropodes carnassiers, connus au Crétacé. Pourtant, nous n'avons pas observé la trace des griffes pointues de ces carnivores, mais une extrémité arrondie, assez nette sur le doigt médian. A notre avis, ces traces évoqueraient plutôt les pattes d'un grand Ornithopode, tel que l'Iguanodon de Bernissart. La longueur des os du pied de cet animal atteint presque 50 cm; compte tenu des chairs, et

surtout du glissement dans la boue encore molle, un tel pied peut avoir produit des empreintes de plus de 60 cm.

La découverte que nous venons de relater est intéressante à plusieurs points de vue.

1. Les gisements d'empreintes de pas de Dinosauriens commencent à être relativement nombreux dans le monde. Celui du Spitzberg serait, à notre connaissance, le 27e et se trouve dans une région quelque peu inattendue.

2. Les Dinosauriens n'étaient connus en Europe que jusqu'au 52e parallèle (Angleterre, Hanovre). D'un coup, les voici signalés par plus de 78° de latitude, soit à 2800 km plus au Nord.

3. Le faciès wealdien nous apparaît comme ayant eu une immense extension géographique au Crétacé inférieur. Partant de la région type, le Weald en Angleterre, on le retrouve avec ses formations argilogréseuses loin vers le Sud, à travers l'Espagne, au Sahara où il constitue la majeure partie du « Continental intercalaire », jusqu'au Niger et au Tchad. Vers le Nord, bien au-delà de la Belgique et du Hanovre, on note sa présence au Danemark, dans les forages, puis en Scanie (carrière d'Erisksdal et divers forages), enfin au Spitzberg sur les deux bords du synclinorium médian. Une telle unité de formations continentales, et probablement aussi de climat, s'étendant du Tchad au Spitzberg, n'est pas sans poser bien des problèmes de paléogéographie.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) A. Hoel et A. K. Orvin, *Skr. om Svalbard-og Ishavet*, n° 18, Oslo, 1937; T. Winsnes, A. Heintz, N. Heintz et K. Birkenmayer, *Guide to excursion A 16, XXI Intern. geol. Congress*, Norden, 1960.

(2) *Norge topografisk Kart over Svalbard*, 1/100 000, Blad B 9, Oslo, 1955.

HISTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Disposition des faisceaux conducteurs des phyllodes chez les* Acacia *de la série* « Alatæ ». Note (*) de M. **Robert Lemesle**, présentée par M. René Souèges.

Chez les *Acacia* de la série « *Alatæ* », le système vasculaire des phyllodes comprend une nervure principale qui suit plus ou moins la ligne médiane, puis des nervures marginales lesquelles occupent chacun des bords. De nombreux petits faisceaux secondaires circulent dans la zone centrale du mésophylle.

Dans une précédente Note ([1]), nous avons distingué, chez quatre espèces d'*Acacia*, deux types structuraux d'après la structure des ailes.

Nous rappelons que ces ailes, prolongements inférieurs des phyllodes, se continuent tout le long de la tige, interrompues seulement au niveau de chaque nœud par une légère échancrure.

Jusqu'à présent, nous nous sommes occupé surtout de la constitution histologique du mésophylle. Il restait à décrire la disposition des faisceaux vasculaires à l'intérieur des phyllodes chez ces espèces de la série « *Alatæ* ».

Acacia alata R. Br. — La portion libre des phyllodes, légèrement arquée, est parcourue par trois nervures importantes qui se continuent jusqu'à la pointe terminale. La principale, très saillante, tend à s'écarter de la ligne médiane, divisant alors la lame en deux parties inégales. Les deux autres occupent chacun des bords renflés; le faisceau marginal ventral ou supérieur prend naissance au nœud, immédiatement au-dessus de la nervure principale; le faisceau marginal dorsal ou inférieur se prolonge sur tout le bord externe de l'aile.

De ces trois nervures partent de nombreux petits faisceaux secondaires, lesquels se ramifient.

Dans cette portion libre du phyllode, le tissu chlorophyllien est complètement interrompu au niveau de la nervure principale proéminente sur les deux faces latérales. Le système vasculaire se compose de deux faisceaux orientés perpendiculairement au plan du phyllode; leur liber est coiffé d'un volumineux cordon fibreux; leur bois se trouve plongé dans un amas sclérenchymateux qui occupe le centre de la nervure.

Chacun des bords est muni d'un gros croissant de fibres scléreuses, lequel englobe le faisceau marginal orienté suivant une ligne parallèle au plan du phyllode.

C'est à l'intérieur de la zone centrale non palissadique du chlorenchyme que circulent les faisceaux libéroligneux secondaires disposés très irrégulièrement et orientés dans les directions les plus variables; au voisinage de leurs portions ligneuses, on observe souvent des groupes de trachéides aquifères.

Acacia diptera Lindl. — Ici, les portions libres des phyllodes, assez espacées, étant souvent réduites à de petites dents, nous n'avons examiné

que la structure des ailes. Dans la zone centrale non palissadique du mésophylle chlorophyllien, il existe un système de faisceaux libéroligneux secondaires semblable à celui de l'espèce précédente.

Acacia stenoptera Benth. — La portion libre des phyllodes, fortement falciforme, possède une nervure principale qui suit approximativement la ligne médiane. Le bord inférieur, arrondi en section transversale, est pourvu d'une seule nervure; le bord supérieur, nettement tronqué, est muni de deux nervures juxtaposées.

La constitution histologique et microchimique du mésophylle, dans cette portion libre, est analogue à celle qu'on observe dans l'aile. Le chlorenchyme palissadique est légèrement interrompu au niveau de la nervure médiane qui comprend deux faisceaux orientés perpendiculairement au plan de la lame; leur liber est coiffé d'un gros arc fibreux et leur bois s'appuie contre un amas de parenchyme sclérifié central.

Au bord inférieur, un volumineux cordon de fibres scléreuses entoure le faisceau marginal orienté suivant une ligne parallèle aux faces du phyllode; cette nervure se continue tout le long de l'aile.

Le bord supérieur aplati est parcouru par deux faisceaux marginaux orientés obliquement par rapport au plan du phyllode; leur liber est muni d'un amas fibreux moins développé que celui qui occupe le bord opposé.

A l'intérieur de la région centrale tannifère du mésophylle, se trouvent de nombreux faisceaux conducteurs secondaires, de dimensions inégales, disposés irrégulièrement et orientés dans tous les sens. De vastes plages de trachéides aquifères sont accolées fréquemment au bois de ces faisceaux.

Acacia glaucoptera Benth. — La portion libre des phyllodes, oblongue et légèrement falciforme, possède une nervure principale qui tend à se rapprocher du bord supérieur; elle se compose de deux faisceaux orientés suivant un plan perpendiculaire à celui du phyllode.

Chacun des bords est parcouru par un faisceau marginal disposé suivant un plan parallèle à celui des faces; le liber est coiffé par un cordon fibreux plus volumineux sur le bord inférieur légèrement renflé.

Les faisceaux libéroligneux secondaires sont localisés à la périphérie de la zone tannifère; ils se distinguent ici par leur orientation normale et leur disposition régulière. Au voisinage de leurs portions ligneuses, on remarque des amas de trachéides aquifères.

Conclusions. — Chez ces *Acacia* de la série « *Alatæ* », le système vasculaire des phyllodes comprend tout d'abord une nervure principale qui s'écarte plus ou moins de la ligne médiane, puis une nervure marginale sur chaque bord; exceptionnellement, le bord supérieur tronqué du phyllode de l'*Acacia stenoptera* est muni de deux nervures bien distinctes. La nervure marginale du bord inférieur se continue tout le long de l'aile. De nombreux petits faisceaux secondaires circulent dans la région centrale du mésophylle; en contact avec leur bois, se trouvent fréquemment de vastes plages de trachéides aquifères à épaississements sclérifiés spiralés ou réticulés.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2223.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Étude des variations comparées des acides aminés libres et des glucides solubles, au cours de l'acquisition et de la perte de l'aptitude à résister au gel chez le Chou de Milan.* Note de Mme **Anne-Marie Le Saint-Quervel**, présentée par M. Raoul Combes.

Au cours de l'acquisition puis de la perte de la résistance au gel chez le Chou de Milan, on constate une accumulation progressive suivie d'une diminution de la proline. Des variations analogues, réversibles elles aussi, se produisent pour le saccharose, le glucose et le fructose; du raffinose se forme puis diminue.

Au cours d'expériences antérieures [1] nous avons observé que le Chou de Milan (variété Pontoise) peut être endurci au gel. L'étude chromatographique des acides aminés libres et des sucres nous a montré que, dans les plantes endurcies, la proline s'accumulait, et que des sucres solubles (saccharose, glucose et fructose) augmentaient tandis que des sucres plus lourds se formaient, en particulier du raffinose. Nous avons alors recherché si ces variations étaient réversibles lorsqu'à l'acquisition de l'aptitude à résister au gel succède la disparition de cette dernière.

Les plantes ont été cultivées et endurcies selon les méthodes précédemment décrites; leur capacité de résistance a été prouvée par un traitement à — 6°,5 pendant 1 h 30 mn, temps nécessaire pour que la glace se forme dans toutes les plantes, endurcies ou non. Les effets plus ou moins nocifs de ce traitement ont été appréciés après réchauffement à + 4° à l'obscurité.

1. *Variations biochimiques accompagnant l'acquisition de l'endurcissement.* — Trois expériences ont été faites. L'endurcissement a duré pour l'une 3 ou 5 jours, pour les deux autres 1, 2 ou 3 jours.

Au dégel, les différences de comportement avec les témoins commencent à être visibles sur les plantes ayant subi 2 jours d'endurcissement; elles sont nettes après 3 jours; après 5 jours, l'endurcissement est acquis.

L'étude chromatographique des acides aminés et des sucres a été effectuée selon les mêmes techniques que précédemment, à partir de 10 g de matière fraîche prélevés sur plusieurs plantes de chacun des lots. Les variations quantitatives des constituants ont été appréciées seulement par examen comparatif des chromatogrammes.

Acides aminés. — En général tous les acides aminés augmentent dès le début du séjour à + 4°. Après 2 jours d'endurcissement, la proline s'accumule déjà et l'augmentation est considérable après 3 jours. On ne constate pas de variations inverses des acides aminés basiques; ils continuent à se former ou ne sont pas détruits. *L'accumulation de proline se poursuit parallèlement à l'augmentation de la résistance au gel* et semble rester constante lorsque celle-ci est acquise.

Glucides solubles. — L'augmentation du saccharose, du glucose et du fructose, sensible après deux jours de traitement se poursuit progressivement. Le raffinose apparaît également après 2 jours d'endurcissement. C'est surtout après trois jours de traitement protecteur que l'accumulation des sucres devient importante. *L'enrichissement en glucides solubles se poursuit parallèlement à l'endurcissement des plantes.*

2. *Variations biochimiques accompagnant la perte de l'endurcissement.* — Un lot de plantes A a été endurci à + 4° C durant 15 jours selon la méthode habituelle, un lot témoin B étant laissé à la serre, à + 18°.

Afin de vérifier que l'endurcissement au gel était bien acquis, on a prélevé sur A un lot *a* et sur B un lot *b* qui ont été soumis au gel à — 6°,5 pendant 1 h 30 mn, puis réchauffés à + 4° à l'obscurité. Seules les plantes du lot *a* ont survécu, montrant ainsi que les plantes du lot A étaient bien endurcies au gel.

Cette vérification effectuée, on a partagé le reste du lot A en deux parties : l'une placée au laboratoire (18 à 20°) formant les lots A' et A'', l'autre laissée à 4° C constituant les lots A_1 et A_2; le reste du lot B a été divisé en deux lots B_1 et B_2 qui sont restés à la serre, conformément aux indications du tableau ci-dessous.

Endurcissement (15 jours à + 4°) (Vérification de l'endurcissement)	A ↓ *a*	+ 18° (Perte de l'endurcissement)	54 h à 18°.......	A'	S (*)
			8 jours à 18°....	A''	+
		+ 4° (Suite de l'endurcissement)	Témoin de A'....	A_1	S
			Témoin de A''....	A_2	S

Témoin maintenu à 18° (Conditions de la serre) :

(Témoin de *a*) *b* ← B	Témoin de A'....	B_1	+
	Témoin de A''....	B_2	+

(*) S indique que les plantes ont résisté au traitement final à — 6°,5; + indique les plantes qui n'ont pas résisté.

Les lots A', A_1 et B_1 ont été soumis au gel ensemble; il en a été de même des lots A'', A_2 et B_2.

Au dégel, les plantes des lots B_1 et B_2 venant de la serre sont mortes. Toutes les plantes des lots A_1 et A_2 ainsi que celles du lot A' ont survécu, tandis que celles du lot A'' mouraient, bien que leur état ait été moins mauvais que celui des plantes des lots témoins B_1 et B_2.

L'endurcissement au gel restait donc acquis après 54 h de réchauffement alors qu'il était perdu au bout de 8 jours de ce traitement.

L'étude chromatographique a porté sur 10 g de substance fraîche de chaque lot. Elle a donné les résultats ci-après.

Acides aminés. — Le chromatogramme des plantes du lot *a* est typiquement celui de plantes endurcies, celui du lot *b* celui des plantes non traitées.

L'examen des autres chromatogrammes montre que les lots B_1 et B_2 sont identiques au lot *b* et les lots A_1 et A_2 identiques au lot *a*.

Par contre, il y a moins de proline en A' qu'en *a* et A_1. En A″ la diminution de proline est considérable par rapport à *a*, A_1 et A_2. Les acides aminés basiques augmentent également en A″, peut-être aux dépens de la proline disparue.

La proline qui s'accumule au froid (à la lumière) diminue donc lorsqu'on place ensuite les plantes à une température de 18 *à* 20° *et cette disparition a lieu en même temps que celle de la résistance au froid.*

Glucides solubles. — Les chromatogrammes des lots *a* et *b* sont comparables à ceux de plantes endurcies et de plantes témoins. Dans le lot A' les sucres solubles formés diminuent, dans le lot A_1 les sucres continuent à augmenter par rapport au lot *a*; le lot B_1 est identique au lot *b*. En A″ la diminution s'accentue encore, A_2 continuant à s'enrichir et B_2 restant semblable à *b*.

Les sucres formés au froid à la lumière disparaissent donc en même temps que disparaît la résistance au froid.

Conclusions. — Au cours de l'endurcissement au gel nous voyons se former progressivement les substances dont nous avions constaté les variations ou la formation par comparaison avec des plantes non endurcies. Ces substances disparaissent de même progressivement lors du réchauffement. *La réversibilité de ces phénomènes est donc frappante.* Les variations parallèles particulièrement marquées des teneurs en proline et en sucres solubles d'une part et de la résistance au froid d'autre part donnent à penser que ces substances peuvent donc jouer un rôle dans la protection contre le gel, ou résulter de modifications métaboliques étroitement liées à l'endurcissement. Rappelons que l'endurcissement n'est possible qu'à la lumière et que les sucres ne s'accumulent pas à l'obscurité. Heber [2] a observé chez le Blé cet accroissement de proline au cours de l'hiver et l'attribue à la dégradation des protéines. Gunar et Sileva [3] ont constaté également chez le Blé la formation de raffinose au cours de l'endurcissement. Cependant de nouvelles expériences sont nécessaires avant qu'on puisse affirmer que ces phénomènes interviennent réellement dans la protection contre le gel. Les effets protecteurs éventuels d'une fourniture directe de proline et de glucides sont en cours d'étude.

(1) A. M. Le Saint, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 1031.
(2) U. Heber, *Planta*, 52, 1958, p. 431-446.
(3) Gunar et Sileva, *Fiziol. Rastenii*, 1, 1954, p. 141-145; *Biol. Abstr.*, 31, n° 6, 1957, p. 18 671.

(*Laboratoire de Biologie végétale, Station du Froid, Bellevue, C. N. R. S.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Essai de mise en évidence de caractères généraux dans la circumnutation des tiges volubiles.* Note de M. **Lucien Baillaud**, présentée par M. Raoul Combes.

Nouvelle confrontation des différents types de mouvements décrits chez les tiges volubiles. Ces mouvements semblent pouvoir être considérés comme résultant de la superposition de deux sortes de phénomènes : l'un, assez constant, se traduisant notamment par la présence d'un maximum simultané de hauteur et de vitesse, l'autre, moins constant, représenté par la tendance des grandeurs caractéristiques à varier de manière symétrique par rapport à l'axe de la trajectoire.

Chez les tiges volubiles, au cours des révolutions successives, diverses grandeurs varient périodiquement. Nous désignons par H, R, V, les maximums et par *h*, *r* et *v* les minimums de hauteur de l'apex, de rayon efficient et de vitesse; ces mêmes lettres placées entre parenthèses s'appliquent au cas où la grandeur en cause présente plus d'une fluctuation par période et symbolisent alors le moins marqué des maximums ou des minimums : dans chaque case du tableau suivant, nous schématisons une période de circumnutation par trois colonnes verticales de lettres correspondant à ces trois grandeurs caractéristiques; dans chacune de ces colonnes, nous indiquons seulement les maximums et les minimums qui se succèdent dans la période; les lettres placées sur une même ligne horizontale indiquent (à 5 mm près environ) la simultanéité des valeurs extrêmes en cause. Nous avons groupé dans ce tableau le plus grand nombre possible des cas décrits (1).

I.			II.			III.			IV.			V.			VI.		
H	*r*	V	H	R	V	H	.	.	*h*	.	V	H	R	V	H	*r*	(V)
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	R	V	.	.	.	.	*r*	.	.	.	*v*
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
h	R	*v*	*h*	*r*	*v*	*h*	.	.	H	.	*v*	*h*	(R)	*v*	*h*	R	V
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	*r*	*v*	.	.	.	.	*r*	.	.	.	*v*
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

VII.			VIII.			IX.			X.			XI.			XII.		
H	*r*	V	H	*r*	V	H	R	V	H	R	V	H	.	V	H	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	V
(*h*)	.	(*v*)	*h*	.	(*v*)	.	*r*	*v*	(*h*)	(*r*)	(*v*)	(*h*)	.	*v*	*h*	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	H	.	.	.	R	.
(H)	R	(V)	(H)	R	(V)	*h*	R	V	(H)	(R)	(V)	*h*	.	V	(H)	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(H)	.	.	(*h*)	.	*v*
h	.	*v*	(*h*)	.	*v*	.	*r*	*v*	*h*	*r*	*v*	*h*	.	*v*	H	.	(V)
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*h*	*r*	*v*

Les cas I et II sont parmi les plus simples et sans doute les plus typiques. La trajectoire est inclinée sur l'horizontale; la hauteur présente un fort

maximum et un fort minimum par période; la vitesse varie parallèlement à la hauteur (un maximum et un minimum diamétralement opposés, séparés, de manière progressive, par des valeurs intermédiaires); la révolution considérée dans l'ensemble de ses caractères possède un seul plan de symétrie, le plan vertical passant par l'axe du mouvement et par le maximum de hauteur, et un gradient simple de variation de vitesse et de hauteur. Les cas III et IV sont aberrants par rapport aux précédents; ce sont des comportements exceptionnels, peut-être consécutifs à des changements d'orientation de la tige. Dans les cas I à III, le rayon efficient varie lui aussi régulièrement entre un maximum et un minimum au cours de chaque révolution; en IV, il est assez constant : tout ceci est en accord avec l'existence d'un seul plan de symétrie (surtout en I et II).

Dans les cas V à XI, nous retrouvons, pour les variations de vitesse et de hauteur, les fluctuations des cas I et II. Mais les faits sont plus compliqués. En V, les variations de vitesse et de hauteur suivent les mêmes règles qu'en I et II mais le rayon efficient présente deux oscillations par période au lieu d'une; ces deux oscillations se retrouvent en IX et X. En VI, VII, VIII, IX et X la vitesse oscille deux fois par période : un maximum a lieu au maximum de hauteur, un 2e maximum est diamétralement opposé au premier (à la place du minimum des cas I et II); ce 2e maximum de vitesse a parfois lieu au minimum de hauteur (VI et IX); il coïncide plus souvent avec un 2e maximum de hauteur (VII et VIII), ce qui rappelle le comportement des vrilles. Il peut coïncider avec une 2e oscillation du rayon efficient (en IX, en X et peut-être en XI), ce qui rappelle également le comportement des vrilles; deux cas sont alors à considérer; en IX la hauteur ne montre, comme en I, II, III et IV, qu'une oscillation par période; en X l'analogie avec le type « vrille » est plus grande encore; la différence essentielle à notre avis avec la circumnutation typique des vrilles réside ici dans le faible écart entre les valeurs extrêmes de la vitesse; exceptionnellement (XI) des oscillations supplémentaires de la hauteur s'ajoutent à des fluctuations de hauteur, de vitesse et peut-être de courbure analogues à celles du type IX; nous interprétons ce mouvement comme assez comparable à celui des vrilles : la forme de la trajectoire, les variations de courbure et de vitesse seraient analogues; il se pourrait que les deux minimums supplémentaires de hauteur de XI soient provoqués par les deux maximums de courbure plus accentués peut-être qu'en VII. Le cas XII paraît assez aberrant; les coïncidences sont irrégulières; comme il s'agit d'un début d'observation et comme les valeurs extrêmes de la vitesse et de la hauteur ne sont décalées que d'une dizaine de minutes, il nous semble que ce cas ne mérite pas d'attention spéciale, au moins provisoirement.

Nous pensons que la variabilité des caractères observés tient peut-être à la superposition d'au moins deux phénomènes différents, l'un à peu près constant, l'autre plus ou moins marqué. Le phénomène constant (géodorsi-

ventralité ?) s'observerait à l'état presque pur dans les cas I et II : trajectoire oblique à un sommet, maximum de hauteur coïncidant avec un maximum de vitesse et un maximum ou un minimum de rayon efficient, variations progressives de rayon, de hauteur et de vitesse, révolution dans son ensemble (trajectoire, variations de rayon efficient, hauteur et vitesse) symétrique par rapport à un seul plan qui est vertical. A l'opposé du maximum de hauteur et de vitesse se trouve en général un minimum de hauteur et de vitesse; en fait il s'y trouve souvent un maximum de ces grandeurs. Ici se situerait le 2e phénomène, plus ou moins marqué, dont nous invoquons l'existence : une tendance (réaction d'hypercourbure ?) à la manifestation d'un 2e plan de symétrie perpendiculaire au premier, ce 2e plan de symétrie interviendrait avec netteté dans les cas V à XI; en V il concernerait le rayon, en VI la vitesse, en VII et VIII la hauteur et la vitesse, en IX le rayon et la vitesse, en X, la hauteur, le rayon et la vitesse; en XI, les fluctuations symétriques présumées de la courbure seraient peut-être assez accentuées pour provoquer les fluctuations apparemment anormales de la hauteur. Les cas aberrants III, IV et XII ne nous paraissent pas suffire à réfuter cette interprétation.

(1) Résultats publiés par A. Tronchet, Mme J. Tronchet, Mlle Y. Courtot et L. Baillaud; les références bibliographiques sont rassemblées dans L. BAILLAUD, *Recherches sur les mouvements spontanés des plantes grimpantes* (*Thèse Sciences*, Besançon, 1957).

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Observations sur l'utilisation du glucose en relation avec la production d'éthylène par le* Penicillium digitatum, Sacc. Note de M. **Phan-Chon-Ton**, présentée par M. Raoul Combes.

Des essais quantitatifs ont montré : 1° que la quantité absolue d'éthylène émis par une culture de *Penicillium digitatum* dépend de la concentration du glucose fourni dans le milieu; 2° que la production d'éthylène rapportée à la quantité de glucose est très faible et 3° que l'éthylène semble être le produit d'une longue chaîne de transformations à partir du glucose.

Nous avons montré précédemment (1) que le glucose était un très bon aliment carboné pour le *Penicillium digitatum* et une excellente source d'éthylène. Dans la recherche des étapes du métabolisme, de ce glucide à l'hydrocarbure, nous avons été amenés à faire des calculs de rendements. Nous avons alors été frappés : 1° par la petitesse du rendement en éthylène lorsqu'on part du glucose, et 2° par la variabilité de ce rendement. De nouvelles expériences nous ont apporté des précisions numériques sur ce point.

Concentration et rendement. — Nous résumons dans le tableau I les résultats de trois essais faits avec des concentrations différentes de glucose dans les milieux de culture.

Tableau I.

	Essai I.	Essai II.	Essai III.
Concentration du glucose (mg/ml)...	500/50	265/50	90/50
Concentration moléculaire (M)......	0,056	0,029	0,01
Éthylène total produit (μg.)........	140	80	180
Rendement en poids (*) (‰).......	0,28	0,3	2
Rendement moléculaire (**) (‰)....	1,7	2	13

(*) Poids d'éthylène produit rapporté au poids de glucose fourni.

(**) Nombre de molécules-grammes d'éthylène rapporté au nombre de molécules-grammes de glucose fourni.

On voit d'après ce tableau que, plus la concentration en glucose est faible, plus le rendement est grand. De ce point de vue donc, on aurait intérêt à opérer avec la concentration la plus faible possible.

Bilan d'utilisation. — Cette étude a été faite au moyen de glucose marqué au ^{14}C. Les résultats de deux essais sont inclus dans le tableau II.

On voit d'après ces nombres que la quasi-totalité du carbone fourni sous forme de glucose se retrouve dans le champignon. Le terme « champignon » dans le tableau II désigne le résidu sec d'un triple lavage préliminaire suivi d'une extraction à l'eau chaude. La radioactivité mesurée se trouve donc localisée sur les parois et le contenu cellulaire insoluble des filaments mycéliens. Dans l'état actuel de nos recherches, nous ne pouvons savoir avec certitude s'il s'agit d'une adsorption ou d'une véritable assimilation

par les cellules du *Penicillium*. Remarquons toutefois que les produits (glucides, acides organiques, aminoacides) de l'hydrolyse du résidu sec par l'acide chlorhydrique 6 N pendant 24 h, séparés par chromatographie, sont tous radioactifs, ce qui nous fait pencher vers l'idée d'une véritable assimilation.

TABLEAU II.

	Essai I.	Essai II.
Concentration du glucose dans le milieu (M)	0,005	0,03
Activité totale initiale (coups/mn).	$8,10^5$	$1,6.10^6$
Activité totale retrouvée dans :		
Éthylène	Traces	$0,01.10^6$
CO_2	$0,32.10^5$	0,11 »
Milieu	0,10 »	0,45 »
Champignon	7 »	1 »
Total	$7,42.10^5$	$1,57.10^6$

Évolution dans le temps de la radioactivité spécifique de l'éthylène. — Lorsqu'à une culture au repos sur milieu épuisé, on fournit à nouveau du glucose à une concentration convenable déterminée d'après les données ci-dessus, on observe une reprise très rapide de l'activité vitale du champignon et une émission presque instantanée d'éthylène.

Nous avons fait deux essais complémentaires.

Essai A : Fourniture de glucose radioactif (radioactivité spécifique : 20 000 coups/mn/mg; concentration : 0,1 M) à une culture non radioactive.

Essai B : Fourniture de glucose non radioactif (concentration : 0,1 M) à une culture qui s'était développée sur un milieu renfermant du glucose radioactif.

Les résultats sont traduits par les graphiques ci-après (*fig.* 1 et 2) où les traits continus se rapportent au poids de gaz émis et les traits discontinus, à la radioactivité spécifique de ce dernier.

Il faut rappeler le fait essentiel que les cultures auxquelles le glucose radioactif a été fourni étaient à l'état de repos, ce qui veut dire que le glucose ajouté est l'unique source de carbone apportée de l'extérieur. Si donc il y a des variations dans l'activité spécifique de l'éthylène émis, les atomes de l'isotope stable du carbone qui en sont la cause ne peuvent provenir que de la culture elle-même.

Discussion. — La première constatation qu'on peut faire, est que l'émission d'éthylène est quantitativement un phénomène d'une importance très secondaire dans le métabolisme général du *Penicillium digitatum*, puisque le rendement du glucose en cet hydrocarbure n'est que de l'ordre du millième, et, dans les meilleures conditions, du centième.

Le deuxième fait à noter est que l'éthylène semble être le produit d'une longue chaîne d'élaboration. C'est ce que montrent les résultats de l'essai A : l'activité spécifique de l'éthylène augmente à mesure que le glucose radioactif est assimilé par le champignon.

Les résultats de l'essai B sont plus difficiles à interpréter. La partie descendante de la courbe de la radioactivité spécifique de l'éthylène confirme l'idée exprimée plus haut; la culture, qui était radioactive, voit son activité

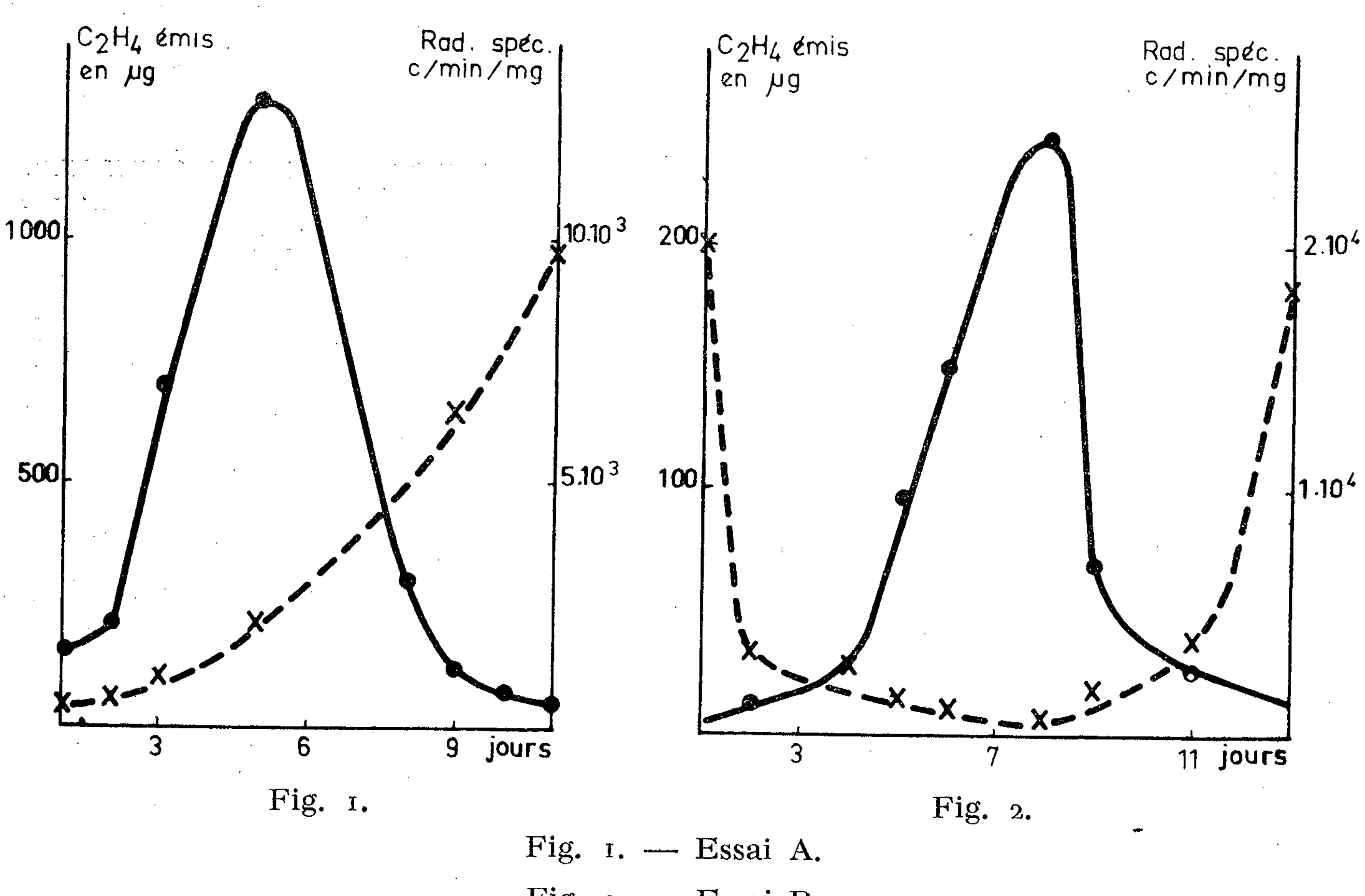


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Essai A.

Fig. 2. — Essai B.

diminuer à mesure que les molécules de glucose non marquées pénètrent dans les cellules du champignon. La remontée de cette courbe constitue une énigme; peut-être signifie-t-elle que, lorsque le champignon a épuisé la source de carbone fournie, il tire, des substances qui participent à sa structure même, les matériaux nécessaires à la formation de l'éthylène.

(¹) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1243.

(*Laboratoire de Biologie végétale de la Station du Froid, Bellevue, C. N. R. S.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Détermination des phases de la dormance des bourgeons latents de Vigne* (Vitis vinifera *L.*) *au cours du cycle végétatif*. Note (*) de M. **Roger Pouget**, transmise par M. Roger Gautheret.

L'évolution des bourgeons latents de vigne, isolés de la plante mère et placés en milieu défini avec et sans traitement préalable à la « rindite », a permis d'analyser la période de dormance et de préciser dans le temps des phases caractérisées par des réactions variables en relation avec une modification supposée de l'état physiologique des bourgeons.

Après Fallot [1] qui a utilisé la « rindite » [2] pour supprimer la dormance de la vigne, nous avons montré dans une récente Note [3] que la toxicité de ce produit croît quand la dormance diminue « d'intensité ». Les expériences décrites ont été poursuivies de 1957 à 1960. Les mêmes méthodes ont été appliquées. Il nous a ainsi été possible de définir d'abord le cycle évolutif des bourgeons latents, ensuite l'action de la « rindite » durant ce cycle.

1. Cycle évolutif des bourgeons latents. — Les bourgeons latents, formés au cours de la phase de croissance active du cycle végétatif, n'entrent normalement en végétation qu'au printemps suivant leur formation. Séparés de la plante mère et placés dans des conditions favorables au débourrement, ces bourgeons se développent au bout d'un temps variable avec leur état physiologique au moment de la récolte. L'examen des variations des durées de débourrement à 50 % (DD 50) pour les années 1958 et 1959 (*fig.* 1 et 2) permet la mise en évidence de trois phases successives.

1° *Phase de pré-dormance*, pendant laquelle les bourgeons sont capables d'entrer en végétation au bout d'un temps assez court (de 10 à 40 jours). L'écart-type des durées de débourrement est pratiquement constant pendant cette période (*fig.* 3 et 4). L'isolement des bourgeons a pour effet de supprimer l'inhibition exercée par les sommets végétatifs et les feuilles adultes.

2° *Phase de dormance*, caractérisée par une augmentation brutale de la DD 50, suivie d'une décroissance rapide. L'état de dormance apparaît brusquement (vers la mi-août en 1958 et 1959) et atteint son intensité maximale dès son apparition. L'écart-type des durées de débourrement, très élevé au début de cette phase, décroît ensuite assez vite.

3° *Phase de post-dormance*, marquée par un changement dans la vitesse de décroissance des DD 50, qui devient plus faible. L'écart-type reste faible et sensiblement constant pendant toute cette phase.

Les droites de régression des DD 50 et des écarts-types sur le temps ont été calculées pour chacune des phases précédentes et se sont avérées significatives. La comparaison des coefficients de régression corres-

pondants n'indique aucune différence significative entre le cycle 1958-1959 et 1959-1960. Il y a donc similitude entre les variations des DD 50 et des écarts-types au cours de ces deux cycles végétatifs.

2. Action de la « rindite » sur le cycle évolutif des bourgeons latents. — La « rindite », létale pour les bourgeons pendant la phase de pré-dormance, devient ensuite accélératrice du débourrement pendant les phases de dormance et de post-dormance, puis à la fin de cette dernière phase, son action s'inverse et devient inhibitrice.

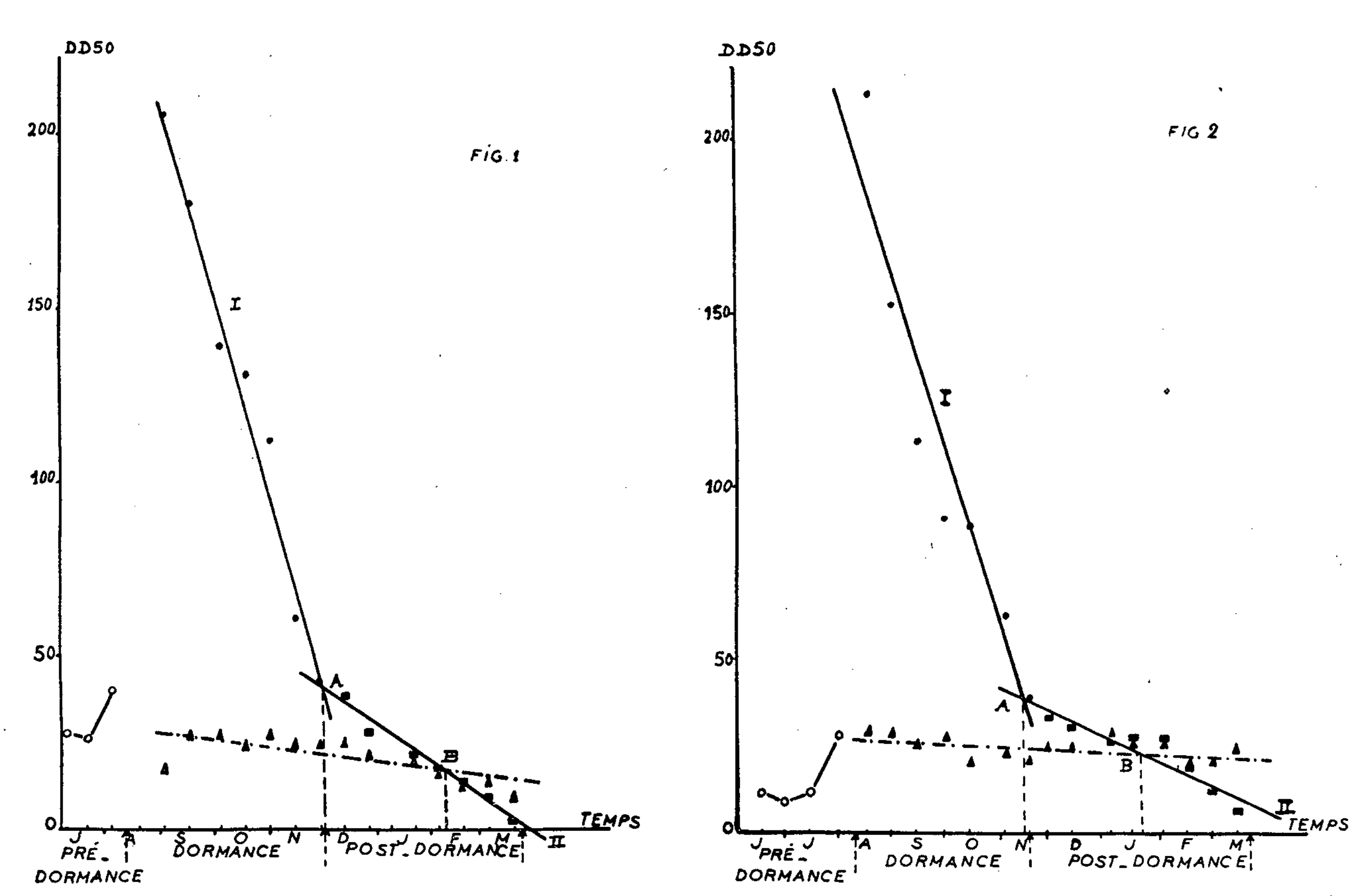


Fig. 1. — Variation des durées de débourrement à 50 % (DD 50) exprimées en jours en fonction du temps en jours (prélèvements bi-mensuels de juillet 1958 à mars 1959).
Témoin : cercles, phase de pré-dormance; points, phase de dormance; carrés, phase de post-dormance.
En trait plein (I et II), droites de régression calculées.
Rindite : triangles. En pointillés, droite de régression calculée.

Fig. 2. — Même légende que la figure 1 (prélèvements de juin 1959 à mars 1960).

Les DD 50 des lots traités à la « rindite » restent pratiquement constantes de même que leur écart-type (*fig.* 1 à 4). Les droites de régression des DD 50 sur le temps sont significatives. Le point d'intersection B de la droite de régression des DD 50 (rindite) avec celle du témoin non traité (II) détermine la date théorique à partir de laquelle l'effet de la « rindite » devient inhibiteur (4 février 1958 et 21 janvier 1959). De même, le point d'intersection A des droites de régression I et II des témoins non traités détermine la date théorique à partir de laquelle se fait le changement de la vitesse de

décroissance des DD 50 (1er décembre 1958, 10 novembre 1959). L'intervalle de temps AB est alors de 66 jours en 1958 et 72 jours en 1959, soit du même ordre de grandeur.

En conclusion, nous avons pu mettre en évidence trois phases au cours du cycle évolutif des bourgeons latents, une phase de pré-dormance durant laquelle la « rindite » est létale; une phase de dormance marquée par l'action accélératrice de la rindite sur le débourrement; une phase de post-dormance

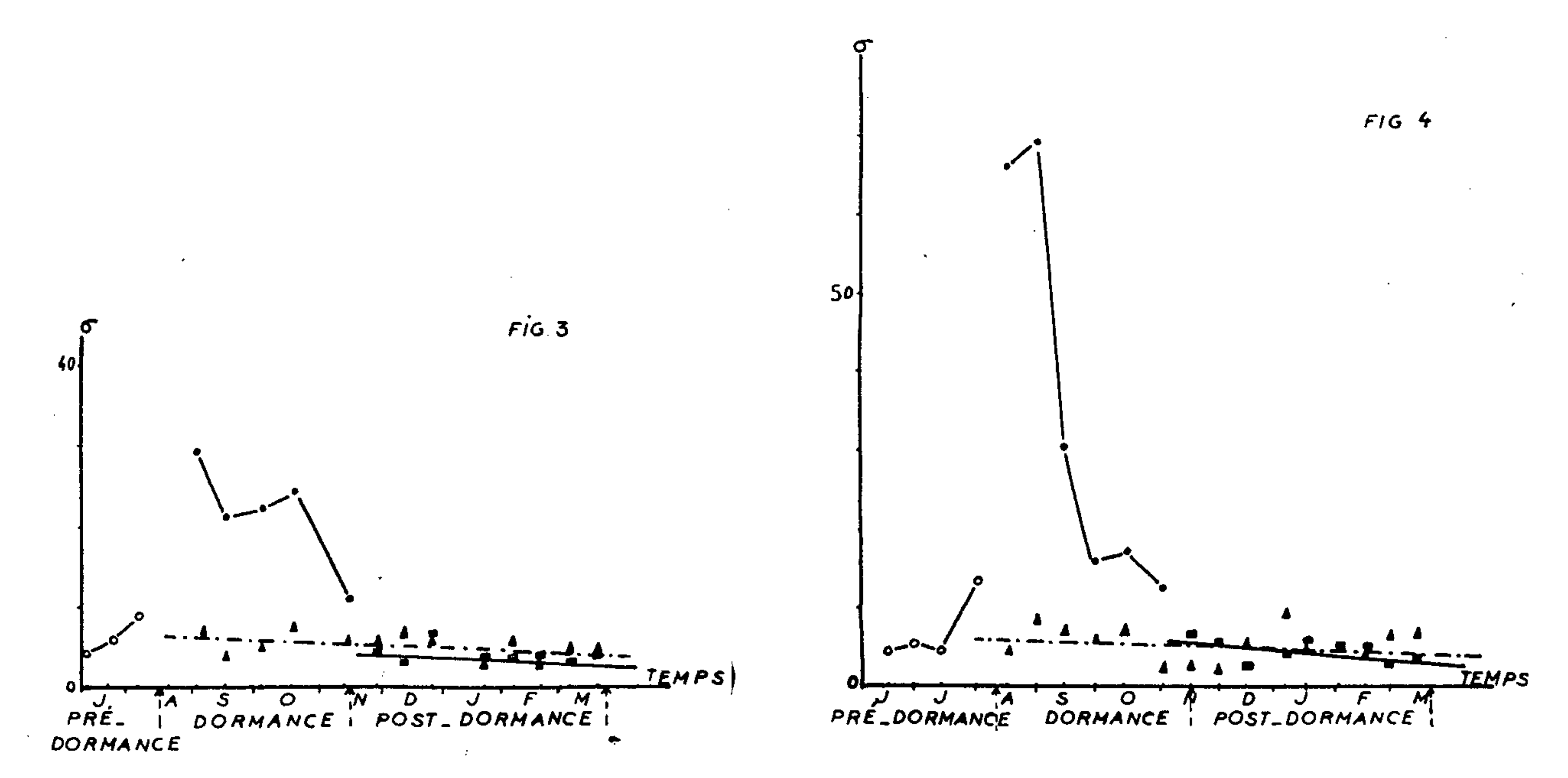


Fig. 3. — Variation de l'écart-type des durées de débourrement en fonction du temps (prélèvements de juillet 1958 à mars 1959).

Fig. 4. — Même légende que la figure 3 (prélèvements de juin 1959 à mars 1960).

au cours de laquelle l'effet de la « rindite » s'inverse et devient inhibiteur. La période qui sépare le début de cette phase de la date d'inversion s'est révélée sensiblement constante durant deux ans.

Chaque changement de phase semble correspondre à une variation de l'état physiologique des bourgeons. Une fois ces stades définis, il reste encore à préciser la nature et l'importance des variations supposées et notamment l'équilibre auxine-inhibiteur dont le rôle est primordial pendant la dormance.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) *Ann. Éc. Nat. Sup. Agr. Toulouse*, 3, 1955, p. 21.

(2) Ce terme désigne un mélange de 7 parties de monochlorhydrine du glycol, de 3 parties de dichlorure d'éthylène et de 1 partie de tétrachlorure de carbone.

(3) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3664.

(*Station de Recherches viticoles,*
Centre de Recherches agronomiques, I. N. R. A.,
Pont-de-la-Maye, Gironde.)

PÉDOLOGIE. — *Apparition d'aluminium échangeable au cours de l'acidification d'un sol.* Note (*) de MM. **Robert Blanchet, Jean-Claude Nadeau,** Mmes **Colette Chaumont** et **Simone Périgaud**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

Des quantités importantes d'aluminium labile apparaissent dans un sol de limon acidifié par des apports répétés d'engrais ammoniacaux. La détermination des bilans de cations échangeables et l'examen des courbes de désorption montrent que cet aluminium se trouve à l'état échangeable, au même titre que l'aluminium échangeable se formant au cours de la conservation des argiles-H.

Les argiles-H sont susceptibles de donner naissance, au cours de leur conservation, à des ions Al^{+++} échangeables provenant de leur réseau cristallin; elles deviennent ainsi peu à peu des argiles-H-Al ([1]), ([2]), ([3]). De même, l'aluminium apparaît souvent dans l' « acidité d'échange » des sols acides, qui est alors un mélange d'ions H^+ et Al^{+++} titrables ensemble par les solutions alcalines.

En suivant l'apparition d'aluminium labile au cours de l'acidification progressive d'un sol, nous nous sommes attachés à trois critères pour reconnaître son état échangeable : déplacement par les solutions salines neutres non tamponnées conservant au système sol-solution une légère acidité, participation à la compensation des charges électronégatives du sol dont l'ensemble représente la capacité d'échange T, et obéissance aux lois générales de l'adsorption applicables à l'ensemble des cations échangeables.

Techniques expérimentales. — Les études ont porté sur un sol de limon recevant depuis 1929 150 kg d'azote par hectare et par an sous forme de chlorure d'ammonium. Ce sol, laissé sans culture, renferme 15,3 % d'argile de type illitique; des prélèvements de terre sont effectués chaque année avant les apports d'engrais. L'ammonium a provoqué, par sa nitrification, une acidification très marquée du sol.

Les échantillons ont été percolés par des solutions normales et neutres de $BaCl_2$, NH_4Cl et $Ba(CH_3—COO)_2$; les ions H^+ et Al^{+++} étaient dosés dans les filtrats. Il n'y a pas, dans ces conditions, d'attaque appréciable de l'argile. La capacité d'échange T a été déterminée par des lessivages du sol avec NH_4ClN puis $NH_4—CH_3—COO$ N neutres, suivis de lavages à l'éthanol et du dosage de NH_4 retenu; les cations échangeables usuels (Ca^{++}, Mg^{++}, K^+, Na^+) ont été dosés sur les extraits, leur somme S permettant de déterminer le degré de saturation S/T.

Des courbes de désorption de l'aluminium échangeable ont été établies d'une part sur une montmorillonite de Camp-Bertaux (Maroc), conservée à l'état d'argile-H et aluminisée spontanément, et d'autre part

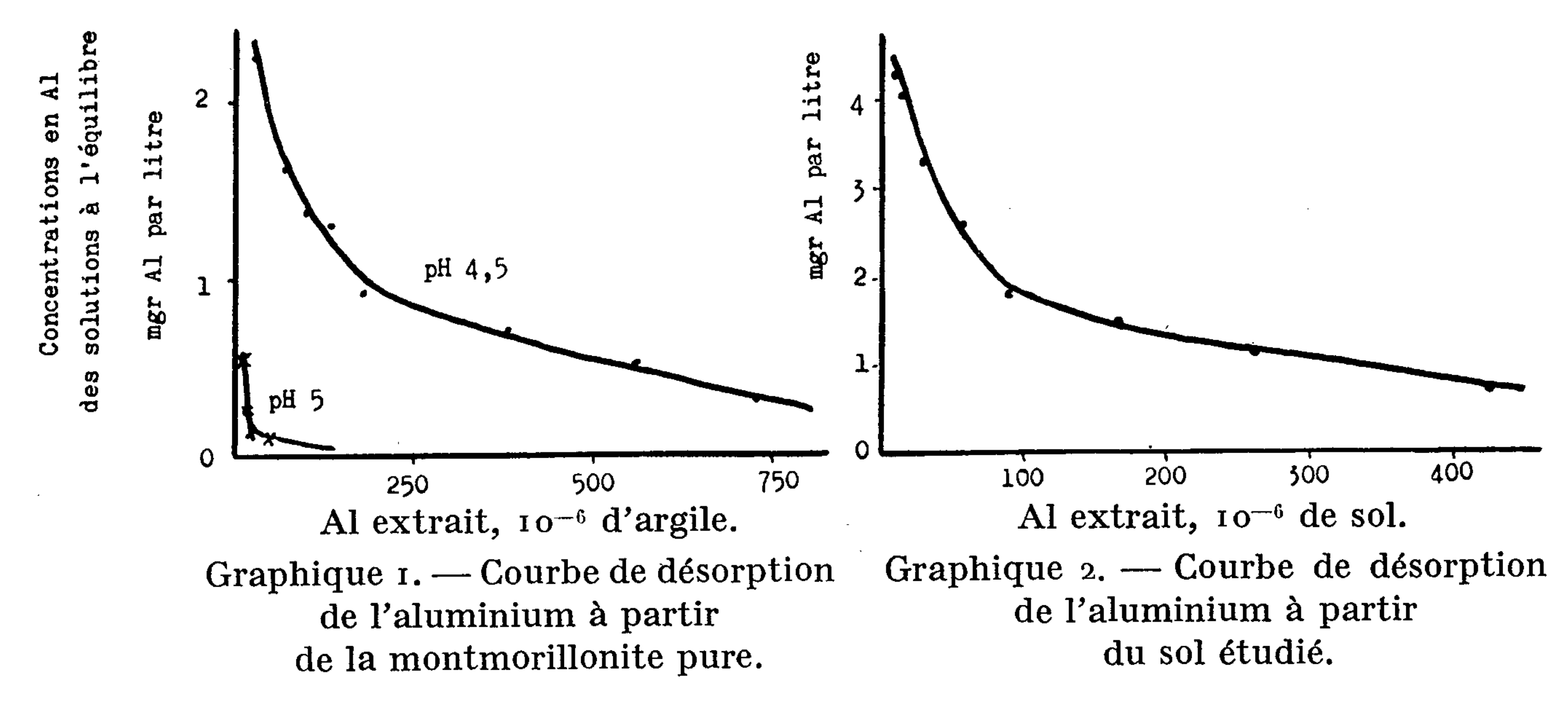
sur le sol étudié. A cet effet, des poids constants d'argile ou de terre ont été agités jusqu'à l'équilibre dans des volumes croissants de solutions d'acétate de calcium 0,01 N amenées préalablement au pH de l'argile ou du sol. Le dosage d'aluminium était effectué dans la phase liquide.

Résultats. — Les résultats sont représentés par le tableau et les graphiques ci-dessous; dans les bilans de cations échangeables, les valeurs de H^+ et de l'aluminium considérées correspondent aux extractions par NH_4ClN.

Année du prélèvement.	pH.	$100\frac{S}{T}$.	Aluminium extrait (méquiv/kg sol).		
			$BaCl_2$.	NH_4Cl.	Ba acétate.
1929	6,3	97	0	0	0
1933	5,05	73	10	0	0
1938	4,3	63	21	14	0
1945	4,2	49,5	29	29	0
1955	3,7	27,5	64	60	16,6

Année du prélèvement.	Bilan des cations échangeables (méquiv/kg).			
	S.	$S + H^+$.	$S + H^+ + Al^{+++}$	T.
1929	176	208	208	181
1933	135	175	175	175
1938	110	152	166	167
1945	80	120	149	158
1955	51	89	149	153

On observe, au fur et à mesure de la diminution du pH et du degré de saturation, l'apparition de quantités de plus en plus grandes d'aluminium labile. En 1955, la teneur en aluminium est supérieure à la somme S des cations métalliques échangeables habituellement rencontrés dans les sols. Cet aluminium n'apparaît guère dans le traitement par la solution neutre d'acétate de baryum qui, tamponnant énergiquement le milieu, occasionne la précipitation de l'aluminium. Les solutions de $BaCl_2$ et NH_4Cl fournissent par contre des résultats assez voisins.



Al extrait, 10^{-6} d'argile.

Graphique 1. — Courbe de désorption de l'aluminium à partir de la montmorillonite pure.

Al extrait, 10^{-6} de sol.

Graphique 2. — Courbe de désorption de l'aluminium à partir du sol étudié.

D'après les bilans de cations échangeables, on constate que, dans les sols fortement acidifiés, la somme $(S + H^+)$ est nettement inférieure à la

capacité d'échange T. Par contre, la somme ($S + H^+ + Al^{+++}$), dans laquelle l'aluminium extrait est considéré comme échangeable et trivalent, correspond bien à la valeur de T. Cet aluminium apparaît donc échangeable au même titre que les autres cations métalliques et les ions H^+.

Le graphique 1 représente les courbes de désorption obtenues sur la montmorillonite pure à pH 4,5 et à pH 5. Elles possèdent la forme classique des courbes de désorption : au fur et à mesure de l'épuisement, il se produit une diminution d'abord rapide, puis de plus en plus lente de la concentration en aluminium de la solution en équilibre avec l'argile. A pH 5, les concentrations sont très réduites en raison de la faible solubilité de l'aluminium. La forme de ces courbes est identique à celle qui a été observée au cours de l'extraction d'autres cations, notamment le calcium (5). Le graphique 2 indique la courbe similaire obtenue sur le prélèvement de 1955 du sol étudié; sa forme est bien semblable à celle des courbes du graphique 1, ce qui indique, dans les deux cas, la désorption d'aluminium échangeable. S'il s'agissait de la dissolution d'hydroxydes d'aluminium précipités, la courbe serait sensiblement parallèle à l'axe des abscisses, donc d'une allure tout à fait différente (6).

Conclusions. — L'acidification de ce sol de limon a entraîné l'apparition de quantités importantes d'aluminium échangeable, pouvant excéder la teneur du complexe adsorbant en cations métalliques habituellement rencontrés. Ces ions Al^{+++} obéissent à des équilibres de désorption, au même titre que les autres cations. Ils ne peuvent être mis en évidence par le traitement du sol avec la technique usuelle de déplacement par la solution normale et neutre d'acétate d'ammonium, qui entraîne leur précipitation à l'état d'hydroxydes; l'utilisation de solutions salines non tamponnées est nécessaire.

La présence d'aluminium échangeable dans d'autres types de sols, ainsi que ses conséquences, feront l'objet de publications ultérieures.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) H. Laudelout et J. P. Eeckman, *C. R. Congr. Assoc. Int. Sc. Sol*, Hambourg, 2, 1958, p. 194-199.

(2) C. Gastuche, *Bull. Gr. Fr. Argiles*, 9, 1957, p. 49.

(3) U. A. Tchernov, *C. R. 6e Congr. Int. Sc. Sol*, Paris, B, 1956, p. 547-555.

(4) G. Gilly, *Ann. Agro.*, 5, 1958, p. 677-689.

(5) R. Blanchet, *Ann. Agro.*, 1, 1959, p. 5-52.

(6) M. Fried et R. E. Shapiro, *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 4, 1956, p. 471-475.

(*I. N. R. A., Station agronomique de Châteauroux, Indre.*)

PÉDOLOGIE. — *Importance de l'ion ammonium à l'état non échangeable dans un profil de sol.* Note (*) de M. **Pierre Gouny**, Mme **Suzanne Mériaux** et Mlle **Ruth Grosman**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

La possibilité pour certains minéraux argileux de retenir à l'intérieur de leur réseau cristallin du potassium à l'état non échangeable a été établie depuis longtemps. On a reconnu, plus tard, que l'ammonium pouvait également faire l'objet d'une rétention analogue à celle du potassium [1]. Toutefois, si cette rétention de l'ion ammonium à l'état non échangeable a été mise en évidence au laboratoire, dans les conditions naturelles, l'importance du phénomène a été souvent sous-estimée.

La fixation de l'ammonium, sous forme non échangeable, peut cependant intéresser une fraction appréciable de l'azote du sol, notamment dans les horizons profonds. Le taux d'azote total, déterminé par la méthode Kjeldahl, doit donc subir une correction pour fournir une estimation correcte de l'azote organique. A défaut de cette correction, la richesse apparente en azote de la matière organique se trouve majorée et l'on obtient des rapports C/N anormalement bas.

Nous avons été conduits à préciser l'ampleur et les limites du phénomène, dans les conditions naturelles, à l'occasion de l'étude d'un profil de sol sous forêt. Le sol étudié est un limon lessivé acide de la vallée de la Saône, de 1,50 m d'épaisseur, reposant sur une formation sableuse. Sur ce profil, des prélèvements systématiques d'échantillons ont été effectués sur une profondeur de 2 m. Nous retiendrons ici les résultats obtenus sur quatre échantillons moyens représentant l'horizon d'entraînement, l'horizon d'accumulation, le limon non évolué et le substratum sableux. Le rapport C/N, établi en utilisant la détermination de l'azote total, s'abaissait à 4,1.

	Argile (%).	pH.	Carbone organique (‰).	Azote total (‰).	$\frac{C}{N}$ apparent.
Horizon superficiel (5-13)	18,0	4,9	17,0	1,07	15,8
Horizon d'accumulation (90-100)	50,0	4,5	2,2	0,37	5,9
Limon originel (135-144)	33,0	4,4	1,1	0,27	4,1
Sable sous-jacent (155-170)	20,0	4,8	1,1	0,27	4,1

A. *Mise en évidence du phénomène.* — La détermination de l'azote ammoniacal, retenu à l'intérieur des réseaux cristallins, a été longtemps rendue difficile du fait de l'absence d'une technique simple et fidèle pour l'extraction de l'ion ammonium. Nous avons utilisé la méthode mise au point récemment par Dharival et Stevenson [2] : extraction fluorhydrique après traitement par une solution de KOH à chaud.

La présence d'azote ammoniacal, à l'état non échangeable, a été reconnue dans tous les échantillons du profil. Une fraction importante de l'azote dosé par la méthode Kjeldahl provient ainsi de l'ammonium. Cette fraction représente seulement le 1/20e de l'azote total en surface, tandis qu'elle en représente la moitié en profondeur. Par différence entre le taux d'azote total et le taux d'azote ammoniacal, il est possible de calculer le taux d'azote organique et le C/N réel de la matière organique.

	N total.	N ammoniacal non échangeable.	N organique.	$\frac{C}{N}$ réel.
Horizon superficiel (5-13)............	1,07	0,07	1,00	17,0
Horizon d'accumulation (90-100)......	0,37	0,13	0,24	9,2
Limon originel (135-144).............	0,27	0,13	0,14	7,9
Sable sous-jacent (155-170)...........	0,27	0,11	0,16	6,9

B. *Conditions de fixation de l'ammonium.* — La quantité d'azote ammoniacal, fixé le long du profil, varie dans le même sens que le taux d'argile. Elle est inférieure ou égale à 0,07 ‰ dans l'horizon d'entraînement. Elle s'élève jusqu'à 0,13 ‰ dans l'horizon d'accumulation pour retomber à un taux intermédiaire en profondeur. L'amplitude de ces variations est cependant inférieure à celle observée dans les taux d'argile, car la fixation maximale possible par le sol peut être supérieure à la quantité effectivement fixée.

La détermination de la capacité totale de fixation de l'ion ammonium, sous forme non échangeable, reflète davantage, au contraire, les variations observées dans le taux de colloïdes minéraux. Cette détermination a été faite après saturation du sol par une solution normale de $ClNH_4$, lavage à l'alcool et séchage à l'air. L'ammonium ainsi fixé a été déterminé comme précédemment.

Le pouvoir de fixation apparaît le long du profil toujours supérieur à 3 milliéquiv. (m. e.) pour 100 g d'argile. Il est sensiblement constant dans l'horizon d'entraînement et dans l'horizon d'accumulation du fait de la similitude dans la nature de l'argile, mais apparaît plus élevé en profondeur (7 m. e.). Il demeure inférieur au taux de fixation généralement admis pour l'illite (8 m. e.).

La capacité totale de fixation représente un taux d'azote inférieur à 0,08 ‰ dans les horizons superficiels, tandis qu'elle atteint 0,26 ‰ dans les horizons d'entraînement. L'ammonium, effectivement fixé dans les conditions naturelles du profil étudié, représente la quasi-totalité de cette capacité de fixation dans l'horizon superficiel. Mais, la proportion diminue ensuite assez rapidement et, dès 60 cm de profondeur, l'ammonium fixé ne représente plus que la moitié du pouvoir de fixation.

Conclusion. — L'étude détaillée d'un profil de sol acide permet de déceler la présence de quantités élevées d'ammonium sous forme non

échangeable à l'intérieur des réseaux cristallins des minéraux argileux. Le pouvoir de fixation totale du sol pour l'ammonium est lié au taux d'argile dans le limon. Cette relation ne s'observe plus dans le substratum de nature différente. La capacité de fixation n'est qu'imparfaitement saturée dans les horizons profonds, tandis qu'elle l'est presque totalement dans la couche superficielle. Sur le plan agronomique, il paraît indispensable de souligner l'importance de ce stock d'azote ammoniacal dans le sol, car, par sa libération éventuelle, il peut perturber le bilan d'azote minéral.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) R. CHAMINADE, *Comptes rendus*, 210, 1940, p. 264.

(2) A. P. S. DHARIVAL et F. J. STEVENSON, *Soil Science*, 86, 1958, p. 343.

(*Station d'Agronomie de Dijon, I. N. R. A.*)

ENDOCRINOLOGIE. — *Esters-sulfates de stéroïdes hormonaux. Isolement de l'ester-sulfate de 5-androstène 3β-ol 17-one (déhydroépiandrostérone) dans une tumeur cortico-surrénalienne. Absence du stéroïde libre* [1]. Note de M. **Étienne-Émile Baulieu**, présentée par M. Robert Courrier.

Dans une tumeur corticosurrénalienne et dans le plasma du sang veineux efférent, l'ester-sulfate de déhydroépiandrostérone (DHEA) a été isolé à l'exclusion du stéroïde libre; au contraire, de l'androstènedione et de la 11β-hydroxyandrostènedione libres ont été mises en évidence. La signification de ce premier isolement dans du tissu surrénalien d'un stéroïde hormonal conjugué est discutée; la sécrétion surrénalienne de sulfate de DHEA pourrait expliquer diverses contradictions des recherches antérieures sur les androgènes surrénaliens.

La 5-androstène 3β-ol 17-one (DHEA) du plasma veineux périphérique [2] n'est pas libre mais conjuguée aux acides sulfurique [3] et phosphorique [4]. Des expériences de biogénèse [5], [6], [7], [8], l'isolement de la DHEA dans les surrénales fœtales [9] ou tumorales [10], [11] et trois fois dans le sang veineux surrénalien [12], [13], [14] confirment les données de la pathologie sur son origine surrénalienne. Mais la DHEA n'a pas été isolée du plasma veineux surrénalien [14], [15], [16], de perfusat [17] ni du tissu surrénalien [18]; on a supposé alors la sécrétion surrénalienne de 17-hydroxyprégnènolone [19] transformée en DHEA à la périphérie [20], [21].

On peut penser cependant que la DHEA, au moins partiellement, est produite directement par la cortico-surrénale [22], et expliquer les contradictions précédentes par sa sulfoconjugaison intra-surrénalienne.

Partie expérimentale. — 148,5 g d'une tumeur surrénalienne de 184 g, extirpée chirurgicalement, ont été broyés et lyophylisés. Les stéroïdes libres ont été extraits avec l'appareil de Kumagawa par l'hexane, le benzène et le dichlorométhane. Ils ont été purifiés par le réactif T de Girard et chromatographiés sur alumine et sur papier. Environ 90 μg de 11 β-hydroxyandrostènedione et environ 15 μg d'androstènedione ont été isolés; on n'a pas mis en évidence de DHEA libre.

Le tissu lyophylisé a été ensuite extrait par le méthanol afin de rechercher les 17-CS conjugués. Après traitement par précipitation dans l'acétone-méthanol et par chromatographie sur Florisil, les éluats acétone-alcooliques 98-2 ont été chromatographiés sur papier dans le système B 5-10 [3] et dosés par la réaction de Zimmermann après élution. 120 μg de sulfate de DHEA (pour la tumeur entière) ont été mesurés. L'identité de l'ester-sulfate de DHEA a été vérifiée par la réaction au bleu de méthylène sur les chromatogrammes [23] et par solvolyse par l'acétate d'éthyle [24] suivie de chromatographie sur papier de la DHEA libérée.

La présence de sulfate de DHEA dans le tissu surrénalien contraste avec l'absence de DHEA libre; celle-ci ne peut être attribuée à une raison technique [25] car deux 17-CS libres ont été isolés au cours de l'expérience.

Ces résultats sont confirmés par l'étude des sangs veineux périphérique et surrénalien et de sang exsudé de la tumeur au cours des manipulations initiales. Une méthodologie analogue a permis de mesurer 340 μg de sulfate de DHEA, 45 μg de sulfate d'androstérone et 20 μg de sulfate d'étiocholanolone pour 100 ml de plasma veineux périphérique; dans le plasma veineux surrénalien, 535 μg pour 100 ml de sulfate de DHEA et des traces des deux autres sulfates, ont été mesurés; dans le sang exsudé de la tumeur, seul du sulfate de DHEA a été isolé [26]. Le sulfate de DHEA semble donc provenir du tissu surrénalien, contrairement aux sulfates d'androstérone et d'étiocholanolone; l'absence de DHEA libre dans les plasmas confirme l'absence de sécrétion de DHEA libre et la production surrénalienne de sulfate de DHEA.

Discussion. — On peut penser que quand la DHEA n'a pas été isolée [14], [15], [16], [17], [18] c'est que le sulfate n'a pas été extrait ou hydrolysé. Inversement, dans les expériences où la DHEA a été isolée [5], [6], [7], [9], [10], [13], l'acétate d'éthyle a pu provoquer une solvolyse [24]; une hydrolyse a pu survenir dans les deux cas [11], [12] où de l'androstérone libre a aussi été isolée. Dans un cas cependant [*in* [14]], ces hypothèses ne tiennent pas. D'ailleurs la DHEA pourrait être produite par le tissu surrénalien et ensuite sulfoconjuguée car, dans un autre cas de tumeur, nous avons isolé environ 75 μg de DHEA libre à côté de 500 μg de sulfate de DHEA.

Ainsi, la DHEA, au moins partiellement, est sulfoconjuguée par la surrénale; il n'est pas impossible, vu l'instabilité des diesters sulfuriques de 17-CS et d'alcools [méthanol [27]], que l'ester-sulfate isolé dérive d'un sulfatidyl [28]. Une alternative à notre hypothèse est que le sulfate de DHEA provienne du métabolisme périphérique d'un précurseur surrénalien en excès [20], [21] et soit ensuite stocké dans la surrénale. Cette éventualité est peu probable car on aurait isolé aussi dans le tissu surrénalien les sulfates d'androstérone et d'étiocholanolone présents dans le plasma périphérique. D'ailleurs au cours d'une tumeur surrénalienne, on a montré *in vivo* que la 17-hydroxyprégnènolone est transformée en DHEA plus que chez un sujet normal [8], ce qui permet d'impliquer une activité surrénalienne pour cette conversion.

On conçoit l'importance théorique de l'isolement du sulfate de DHEA dans la surrénale, rapporté ici pour la première fois, s'il signifie sa production par le tissu endocrinien. La sulfoconjugaison est considérée, jusqu'à présent, comme une modalité de l'inactivation et de l'élimination des métabolites hormonaux. Son existence au niveau d'un parenchyme endocrinien nécessite d'en apprécier l'importance et la signification.

(1) Avec l'aide technique de Mlles C. Corpechot et Y. Fordoxel.

(2) C. J. MIGEON et J. E. PLAGER, *J. Biol. Chem.*, 209, 1954, p. 767.
(3) E. E. BAULIEU, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 20, 1960, p. 900.
(4) G. W. OERTEL et K. B. EIK-NES, *Acta Endocrinol.*, 30, 1959, p. 93.
(5) E. BLOCH, R. I. DORFMAN et G. PINCUS, *Arch. Biochem. Biophys.*, 61, 1956, p. 245.
(6) E. BLOCH, R. I. DORFMAN et G. PINCUS, *J. Biol. Chem.*, 224, 1957, p. 737.
(7) M. GLODSTEIN et R. I. DORFMAN, *Biochem. Biophys. Acta*, 38, 1960, p. 190.
(8) S. SOLOMON, A. C. CARTER et S. LIEBERMAN, *J. Biol. Chem.*, 235, 1960, p. 351.
(9) E. BLOCH, K. BENIRSCHKE et E. ROSEMBERG, *Endocrinology*, 58, 1956, p. 626.
(10) L. O. PLANTIN, E. DICZFALUSY et G. BIRKE, *Nature*, 179, 1957, p. 421.
(11) M. KELLER, A. HAUSER et A. WALSER, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 18, 1958, p. 1384.
(12) I. E. BUSH, J. SWALE et J. PATTERSON, *Biochem. J.*, 62, 1956, p. 16 P.
(13) I. E. BUSH et V. B. MAHESH, *J. Endocrinol.*, 18, 1959, p. 1.
(14) M. E. LOMBARDO, C. MC MORRIS et P. B. HUDSON, *Endocrinology*, 65, 1959, p. 426.
(15) E. B. ROMANOFF, P. HUDSON et G. PINCUS, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 13, 1953, p. 1546.
(16) G. PINCUS et E. B. ROMANOFF, *Ciba Fndtn. Coll. Endocrinol.*, 8, 1955, p. 97.
(17) E. BLOCH, R. I. DORFMAN et G. PINCUS, *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.*, 85, 1954, p. 106.
(18) R. NEHER et A. WETTSTEIN, *Acta Endocrinol.*, 35, 1960, p. 1.
(19) H. CARSTENSEN, G. W. OERTEL et K. B. EIK-NES, *J. Biol. Chem.*, 234, 1959, p. 2570.
(20) G. W. OERTEL et K. B. EIK-NES, *Fed. proc.*, 17, 1958, p. 400.
(21) G. W. OERTEL et K. B. EIK-NES, *Endocrinology*, 65, 1959, p. 766.
(22) S. LIEBERMAN et R. L. WANDE WIELE, *Proc. 4th Int. Congress of Biochemistry*, IV, *Biochemistry of steroids*, E. Mosettig, Pergamon Press, 1959, p. 193.
(23) O. CREPY et O. JUDAS, *Rev. Fse. Et. Clin. Biol.*, 5, 1960, p. 284.
(24) S. BURSTEIN et S. LIEBERMAN, *J. Biol. Chem.*, 233, 1958, p. 331.
(25) L. FIESER et M. FIESER, *Steroids*, Reinhold, New-York, 1959, p. 726.
(26) De plus du sulfate de 7-oxo DHEA a été isolé (à paraître).
(27) R. EMILIOZZI, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1960, p. 911.
(28) G. W. OERTEL, Communication personnelle.

(*Laboratoire de Chimie médicale*
Faculté de Médecine, 45, *rue des Saints-Pères*, *Paris*, 6e.)

BIOLOGIE. — *Action du facteur température sur le développement nymphal de* Chortophila brassicæ *Bouché* (Diptera muscidæ) : *Arrêt de développement et diapause.* Note (*) de M. **Jacques Missonnier**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

Les pupes de *Chortophila brassicæ* Bouché, issues d'élevages effectués à 20°, se développent à 15 et à 20° mais n'évoluent pas à 10 et à 25 ou 30°. L'inhibition du développement observée à 25 ou 30° cesse dès que les pupes sont placées à 15 ou à 20°; elle ne se produit pas si les nymphes ont commencé leur évolution à 15 ou à 20°, puis sont soumises à 25 ou 30°; il s'agit là d'un arrêt de développement d'un type particulier qui n'intéresse qu'une phase limitée et précoce de l'évolution nymphale. Au contraire, l'inhibition observée à 10° a les caractéristiques d'une diapause.

Dans une Note précédente ([1]), nous avions indiqué que les pupes de *Chortophila brassicæ* Bouché, obtenues par élevage des larves à une température supérieure à 15°, étaient « susceptibles de se développer rapidement, à condition qu'elles soient elles-mêmes exposées à des températures favorables, comprises entre 10 et 20° ». L'action de différentes températures constantes (3, 10, 15, 20, 25 et 30°) sur des pupes obtenues par élevage de larves à 20° a été étudiée en détail ([2]).

Action des températures constantes sur les pupes de *Ch. brassicæ*. — Quand les pupes sont placées aussitôt après leur formation aux différentes températures citées, elles donnent des adultes à 15 et à 20° seulement; les durées moyennes du développement nymphal sont respectivement de 20 et de 13 jours. A 25 et à 30° au contraire, les nymphes restent à un stade très précoce de leur évolution sans subir de développement : elles meurent les unes après les autres, en moins de 75 jours à 30°. A 10° il n'est pas observé de sorties d'adultes dans des délais normaux : des mouches apparaissent après plus de quatre mois, de manière très échelonnée; les pupes ne se développent jamais à 3°. Dans ces deux derniers cas, les nymphes ont leur évolution arrêtée au même stade que celles qui sont soumises à 25 ou 30° : elles sont bien formées; les phénomènes d'histolyse des tissus larvaires sont achevés. C'est à un stade comparable qu'a lieu la diapause ([1]).

D'après ces résultats, l'intervalle de température à l'intérieur duquel les pupes de *Ch. brassicæ* sont susceptibles de se développer paraît très étroit : plus de 10°, en moins de 25°. Cependant les durées d'évolution observées à 15 et à 20° permettent de supposer que la température seuil inférieur théorique de développement devrait être voisine de 5°; de plus, les lots hétérogènes de pupes de la première génération récoltées dans le sol, donnent des adultes à toutes les températures comprises entre 5 et 30°.

Les expériences suivantes ont eu pour but d'expliquer ces observations contradictoires et de vérifier et de compléter les notations de Koshan-

chikov (1939) : d'après lui les pupes placées initialement à 25° se développent rapidement dès qu'elles sont soumises à une température inférieure à 20°.

Action de différentes températures constantes appliquées successivement aux pupes de *Ch. brassicæ*. — Des lots importants de pupes de *Ch. brassicæ* obtenues par élevage de larves à 20°, ont été placés dès leur formation aux différentes températures citées; après des temps variables (3, 7, 15, 25, 40, 60 et 80 jours), des pupes ont été prélevées dans ces lots et réparties par groupes de 80 aux différentes températures suivantes : 10, 15, 20 et 30°.

1° *Pupes soumises initialement à 25 et 30°* : Elles se développent quand on les place à 20, à 15 ou à 10°, quelle que soit la durée du séjour préalable à température élevée, toujours dans des temps égaux. Le passage de 25 à 30° ou de 30 à 25° ne permet aucun développement.

2° *Pupes soumises initialement à 15 et à 20°* : Elles poursuivent leur évolution selon la règle de la constante thermique quand on les met à 10, à 25 et à 30°.

Ces deux premières séries de constatations montrent que l'inhibition du développement des pupes observée à 25 et 30° ne peut pas être assimilée à une diapause ou même à un arrêt de développement classique : en effet, le développement s'effectue dès que la température est abaissée, quelle que soit la durée du séjour initial à 25 ou 30° (3 à 80 jours); en deuxième lieu, il suffit que l'évolution des pupes ait commencé à 15 ou à 20° pour qu'elle puisse se poursuivre à 25 ou à 30°. Cette inhibition n'intéresse donc qu'un stade très précis, très court et précoce du développement nymphal : elle ne joue plus dès que ce stade est franchi.

Enfin les inhibitions observées à 25 et 30° d'une part et à 10° d'autre part, n'ont pas les mêmes caractères, ne sont pas équivalentes : en effet les pupes dont le développement est arrêté à 25 ou à 30°, évoluent dès qu'elles sont placées à 10°. La nature différente des phénomènes observés à 10° et à 25 ou 30° va être confirmée.

3° *Pupes soumises initialement à 10°* : Elles perdent progressivement, en moins de sept jours, la faculté de se développer à 15 et à 20°; il semble donc que cette température puisse provoquer chez les nymphes de *Ch. brassicæ* un état de diapause que les conditions d'élevage des larves n'avaient pas induit (1). Si le séjour initial à 10° est très prolongé (40, 60 et 80 jours), on observe, après exposition à 15 et 20°, des sorties de mouches adultes en proportions croissantes et dans des délais de plus en plus courts, supérieurs cependant aux temps normalement nécessaires à l'évolution des nymphes : ces faits sont comparables à ceux qui sont observés au cours des expériences de rupture de diapause (1). Il semble donc que cette température de 10° qui a induit une diapause nymphale puisse ensuite l'éliminer :

cela explique les sorties de mouches observées après plus de quatre mois de séjour à 10°, au cours de la première expérience.

Après passage à 25 ou à 30°, il n'est pas observé de sorties d'adultes, quelle que soit la durée d'exposition préalable à 10° (80 jours au maximum ici) : la levée de l'état de diapause n'empêche donc pas l'inhibition du développement par les fortes températures; au contraire les pupes qui ont subi d'abord cette inhibition de leur développement à 25 ou 30° ne peuvent plus entrer en diapause à 10°.

4° *Pupes soumises initialement à* 3° : Une exposition de 3 à 15 jours à 3° permet aux pupes de se développer à toutes les températures étudiées, de 10 à 30°, en proportion plus faibles à 10, 25 et 30° qu'à 15 et à 20°.

Ces différentes expériences permettent de compléter la courbe de développement nymphal de *Ch. brassicæ* : celui-ci dure en moyenne de 35 à 40 jours à 10°, 8 jours à 25 et à 30°; la température seuil minimale théorique de développement est effectivement voisine de 5°. Les résultats obtenus expliquent les phénomènes d'estivation observés sous les conditions naturelles, dans les populations de pupes de la première génération de *Ch. brassicæ* : il suffit en effet qu'elles soient soumises à des températures à peine supérieures à 20°, pour que leur développement soit inhibé; celui-ci reprend de lui-même dès que le sol se refroidit. Un nouveau facteur du déterminisme de la diapause nymphale est mis en évidence : celui-ci est habituellement induit par les conditions d'évolution des larves (température inférieure à 15°) (1).

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) J. MISSONNIER, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 143-145.

(2) En conditions expérimentales, l'élevage des larves à 20° donne toujours un certain pourcentage de pupes qui présentent une diapause typique (moins de 20 %). Aussi dans tous les lots des expériences citées ici, il y a toujours eu des pupes qui n'évoluaient pas.

Dans ces essais, les pupes étaient placées par groupes de 80 à 100 dans des flacons de 100 ml à demi rempli de terre fine, maintenue très légèrement humide.

(3) I. V. KOSHANCHIKOV, *Bull. Inst. Zool. Appl. Phytopath.*, Leningrad, 7, 1939, p. 5-14.

(*I. N. R. A., Laboratoire de Recherches de la Chaire de Zoologie de l'École Nationale d'Agriculture de Rennes.*)

BIOLOGIE CELLULAIRE. — *Étude autoradiographique de l'incorporation de thymidine tritiée dans les œufs* d'Arbacia lixula *L.* Note (*) de M. **Victor Nigon** et Mlle **Jacqueline Nonnenmacher**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

Dans les premiers instants du développement de l'œuf, diverses obscurités règnent actuellement sur le comportement de l'acide désoxyribonucléique (ADN). Chez plusieurs espèces d'Oursins, deux questions ont fait l'objet d'études spéciales :

1° Quel est le contenu en ADN de la vésicule germinative, des pronuclei et du noyau de segmentation? D'après certains auteurs (1), ces structures ne contiendraient pas trace d'ADN, la plupart estiment toutefois qu'il s'en trouve une certaine quantité. Certains se sont bornés à une observation qualitative (2). D'autres (3) admettent que le taux d'ADN va en croissant au cours des divisions successives. Mc Master (4) enfin, considère que le noyau de fécondation contient autant d'ADN que les noyaux des stades ultérieurs; elle remarque cependant que le pronucleus femelle a un coefficient d'extinction trop faible pour être mesurable.

2° D'où provient l'ADN qui se forme au cours de la segmentation? Depuis l'hypothèse de Brachet (5) faisant dériver l'ADN de l'ARN, de nombreuses possibilités ont été envisagées. L'une des dernières en date considère l'existence soupçonnée, dans le cytoplasme de l'œuf, de substances présentant avec l'ADN une parenté suffisante pour se confondre avec lui dans les techniques habituelles d'extraction et de dosage (6), (10). Ces substances seraient-elles à l'origine de l'ADN nucléaire?

Il nous a semblé qu'en utilisant les propriétés de la thymidine pour analyser la synthèse de l'ADN dans l'œuf d'Oursin, il serait possible d'apporter une contribution à la solution de ces problèmes. On sait, en effet, que cette substance s'incorpore de façon préférentielle dans l'ADN et, en particulier que l'œuf d'Oursin la fixe activement (7).

Matériel et méthodes. — Les œufs ont été fournis par des *Arbacia lixula* fraîchement pêchés dans la rade de Villefranche (8). La ponte a été provoquée en ouvrant le test. Les œufs sont répartis en très petits lots dans des godets de 1 ml d'eau de mer additionnée de thymidine tritiée (1100 mC/mM; concentrations utilisées : 40, 30 et 2 μ C/ml). La fécondation est pratiquée dans ces godets et le développement s'y poursuit à la température ambiante (26° C). Au cours de certaines expériences, les embryons ne sont placés dans la thymidine, durant 1 h, qu'après 4 h de développement dans l'eau de mer ordinaire. Les fixations sont effectuées au Bouin ou à l'alcool acétique. L'autoradiographie est pratiquée à l'aide d'émulsion pelliculable Kodak AR-10 avec un temps d'exposition de deux semaines.

Résultats. — L'incorporation, lorsqu'elle existe, paraît être exclusivement nucléaire. Le résultat des digestions enzymatiques indique que cette incorporation s'effectue uniquement dans l'ADN.

Parmi les œufs fixés 30 mn après le début du développement, on trouve une proportion élevée de noyaux de fécondation non marqués. Les autres manifestent une incorporation tantôt très faible, mais parfois assez forte. Ces inégalités correspondent à la dispersion habituelle dans les vitesses de développement des embryons d'Oursin : il semble donc qu'en moyenne l'incorporation de la thymidine dans l'ADN nucléaire y débute 30 mn environ après la fécondation. Cette incorporation paraît se développer parallèlement à la formation des asters, comme chez *Strongylocentrotus purpuratus* (9). Après 1 h, le marquage atteint son maximum à la métaphase. Si l'on compare ce marquage à celui des métaphases qu'on peut voir dans des œufs développés durant 4 h dans l'eau de mer ordinaire, puis 1 h en présence de thymidine, on constate que les intensités sont de même ordre. En revanche, les œufs développés durant 5 h en présence de thymidine manifestent des marquages beaucoup plus élevés. Enfin, l'intensité du marquage est sensiblement identique quelle que soit la concentration de thymidine à laquelle les œufs ont été soumis.

Discussion. — Les observations effectuées semblent permettre deux sortes de conclusions :

1° *S'il existe, dans l'œuf d'Oursin, des polynucléotides proches de l'ADN, précurseurs de l'ADN nucléaire, ils doivent être sans doute dégradés au préalable ce qui implique, pour eux, la perte de toute fonction génétique éventuelle.* En effet, de tels précurseurs directs entreraient en concurrence avec la thymidine tritiée, celle-ci étant alors nécessairement désavantagée. Il en résulterait une influence notable de la concentration de thymidine sur l'intensité du marquage : or, cette influence n'est pas constatée dans l'intervalle de concentration, allant de 1 à 20, qui a été utilisé. D'autre part, la faible quantité de ces polynucléotides trouvée dans l'œuf d'Oursin serait épuisée par les premières divisions (1), (10). Il en résulterait, s'ils se transformaient directement en ADN, des conditions de concurrence avec la thymidine très différentes entre la première et la cinquième heure du développement. En fait, il semble que la quantité de thymidine incorporée au cours d'un cycle de division de 1 h reste constante.

2° *Le noyau de fécondation contient sans doute une quantité d'ADN analogue à celle que contiennent les noyaux de la morula.* En effet, si ce noyau était dépourvu d'ADN, la synthèse qui précède la première division devrait créer la totalité d'un stock diploïde d'ADN, ce qui produirait un marquage très intense, analogue à celui des œufs qui ont subi plusieurs cycles de division en présence de thymidine. Le fait que la quantité de thymidine incorporée entre la fécondation et l'achèvement de la première division soit analogue à celle que fixe un noyau d'un stade plus évolué au cours d'un cycle de division, tend à prouver que les noyaux primitifs contiennent, avant de se préparer à la division, autant d'ADN que les noyaux des stades ultérieurs.

Peut-être faudra-t-il invoquer, pour expliquer la faible colorabilité du pronuclei, la nature des protéines auxquelles se trouvent à ce stade, liés les acides nucléiques? Ces protéines se trouvent sans doute en voie de remaniement, les protamines du spermatozoïde devant être remplacées par des protéines plus complexes. De ce fait, le complexe nucléoprotéique pourrait manifester une labilité particulière vis-à-vis des traitements histologiques.

Nous préciserons pour terminer que nos conclusions reposent sur des observations grossièrement quantitatives. Des études actuellement en cours, moyennant l'emploi d'extractions chimiques, permettront sans doute une appréciation plus certaine sur la valeur de nos conclusions provisoires.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) A. Marshak et C. Marshak, *Exp. Cell. Res.*, 5, 1953, p. 288-320; 8, 1955, p. 126-146; 10, 1956, p. 246-247.

(2) M. H. Burgos, *Exp. Cell. Res.*, 9, 1955, p. 360-363; J. Brachet et A. Ficq, *Arch. Biol.*, 67, 1956, p. 431-446.

(3) L. Lison et J. Pasteels, *Arch. Biol.*, 62, 1951, p. 1-43.

(4) R. Mc Master, *J. exp. Zool.*, 130, 1955, p. 1-27.

(5) J. Brachet, *Arch. Biol.*, 48, 1937, p. 529-548.

(6) E. Zeuthen, *Arch. Neerl. Zool.*, 10, 1952, suppl. 1, p. 31.

(7) C. V. Harding et W. L. Hugues, *Biol. Bull.*, 115, 1958, p. 372.

(8) Une partie de ce travail a été accomplie au cours de séjours à la station zoologique de Villefranche-sur-Mer.

(9) N. L. R. Bucher et D. Mazia, *J. bioph. bioch. Cytol.*, 7, 1960, p. 651-655.

(10) E. Hoff-Jørgensen, *7th Colston Res. Symp. Bristol*, 1954, p. 79-90; A. H. Whiteley et F. Baltzer, *Publ. Staz. zool. Napoli*, 30, 1958, p. 402-457.

(*Laboratoire de Zoologie expérimentale, Faculté des Sciences, Lyon.*)

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE. — *Caractéristiques électroniques des polyènes conjugués d'intérêt biologique (caroténoïdes, vitamines A, rétinènes).* Note (*) de Mme **Alberte Pullman**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous avons étudié récemment [1] la structure électronique des différents isomères du rétinène en relation avec le problème de la vision scotopique [2], ainsi que la question du mécanisme de l'isomérisation des polyènes conjugués [3] en liaison avec la nature « empêchée » du néo *b*-rétinène [4]. La présente Note apporte des renseignements complémentaires sur les caractéristiques électroniques du β-carotène, de la vitamine A_1, du rétinène et des β-apo-8'-, β-apo-10'-, β-apo-12'-, β-apo-14'-caroténals [*fig.* 1 et tableau I, calculs effectués par la méthode des orbitales moléculaires [5]].

Tableau I.

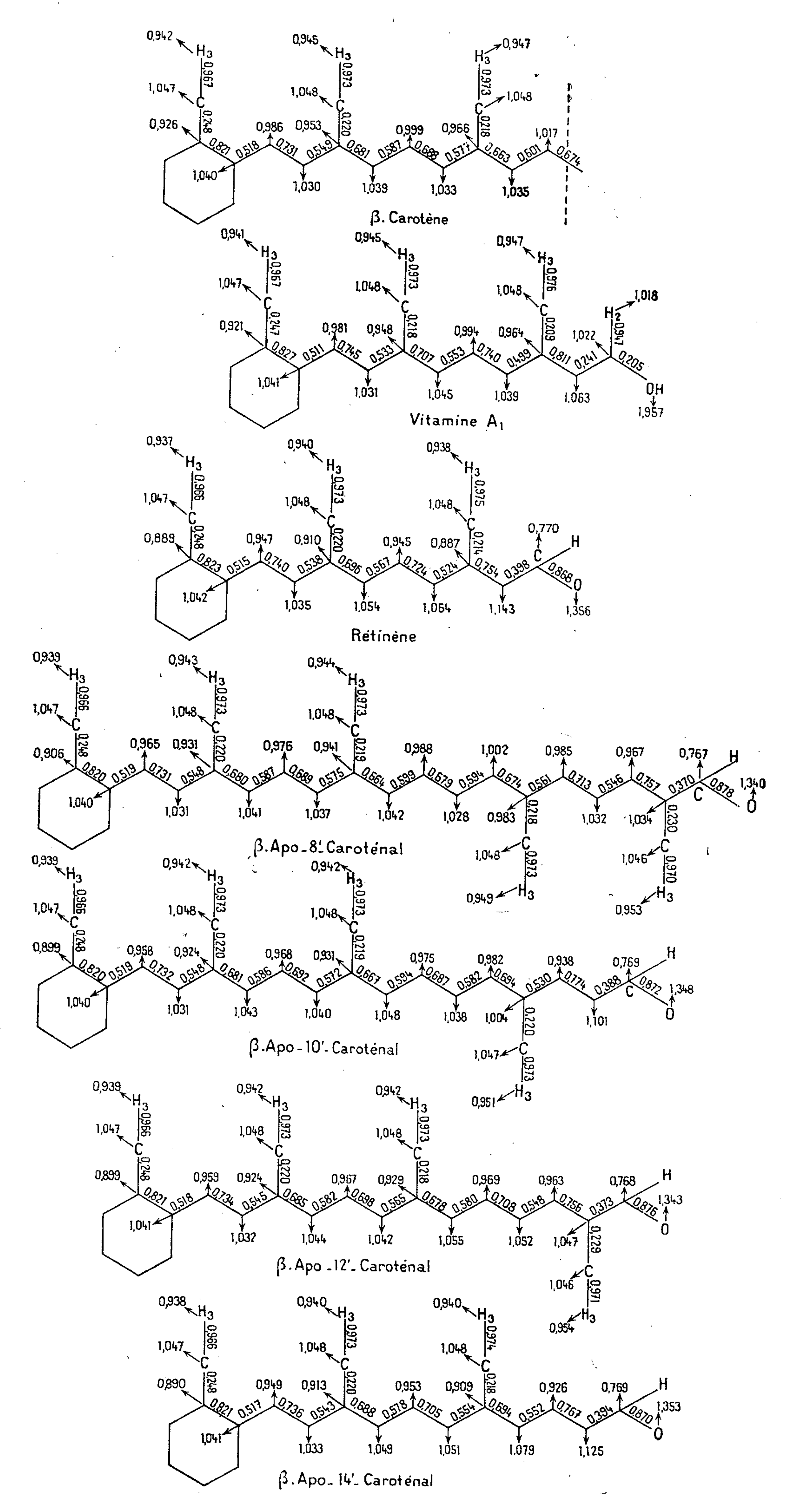
Indices énergétiques (en β).

Substance.	Énergie de la plus haute orbitale occupée.	Énergie de la plus basse. orbitale libre.	Énergie de résonance.
β-carotène	0,079	—0,183	6,280
Vitamine A_1	0,231	—0,309	2,891
Rétinène$_1$	0,284	—0,255	2,938
β-apo- 8'-carotenal	0,132	—0,174	5,408
» 10' »	0,163	—0,184	4,712
» 12' »	0,186	—0,206	4,170
» 14' »	0,240	—0,222	3,478

L'ensemble de ces résultats indique en particulier que :

1° Toutes les molécules considérées sont à la fois bons donneurs et bons accepteurs d'électrons, le β-carotène étant un donneur exceptionnellement bon. Cette propriété est à mettre en rapport avec l'aptitude particulière qu'ont les caroténoïdes de former des complexes qui peuvent jouer un rôle important dans certains processus biologiques, comme la photosynthèse [6] par exemple.

2° La structure électronique du β-carotène milite en faveur des théories qui postulent une attaque terminale sur la liaison 7-8 lors de la transformation de cette molécule en vitamine A dans l'organisme [7] : de toutes les liaisons de la chaîne polyénique, cette liaison a le plus grand indice mobile; d'autre part le carbone 7 a une valence libre [8] nettement plus élevée que tous les autres carbones de la molécule, ce qui indique une aptitude réactionnelle particulière. Ceci est confirmé par le calcul des énergies de polarisation nucléophile, électrophile et radicalaire des différentes positions du β-carotène qui montrent que la position 7 est la plus susceptible pour toutes les catégories d'attaque.



Charges électriques (au bout des flèches)
et indices de liaison mobile (sur les liaisons).

3° La série des quatre apo-caroténals se divise au point de vue réactivité en deux groupes : l'un comportant les aldéhydes en 8' et 12' et l'autre ceux en 10' et 14', les deux premières molécules présentant en α — β du C=O une réactivité nettement supérieure à celle des deux autres, de sorte que lors d'une transformation « pas-à-pas » du β-carotène en vitamine A passant successivement par ces intermédiaires (ou éventuellement par les acides correspondants), on aurait l'ordre de réactivité

$$\beta\text{-apo-8'-caroténal} \xrightarrow{\text{difficile}} \beta\text{-apo-10'-caroténal} \xrightarrow{\text{facile}} \beta\text{-apo-12'-caroténal}$$
$$\xrightarrow{\text{difficile}} \beta\text{-apo-14'-caroténal} \xrightarrow{\text{facile}} \text{rétinène.}$$

Ce schéma est en complet accord avec celui suggéré par Glover et Redfearn (9).

Nos calculs ont également porté sur la structure électronique des provitamines A essentielles (α-carotène; analogue en C_{30} du β-carotène; 13, 13'-bisdesméthyl β-carotène; neurosporène; mono-et bisdéhydro- β-carotènes et leurs dérivés), ainsi que de la vitamine A_2 et ses dérivés.

Une discussion détaillée sera donnée dans une publication séparée.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) H. Berthod et A. Pullman, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 808.

(2) R. Hubbard et G. Wald, *J. Gen. Physiol.*, 36, 1952-1953, p. 269.

(3) A. Pullman et B. Pullman, *Proc. Nat. Acad. Sc. U. S. A.* (sous presse).

(4) *Cf.* par exemple : G. Wald et R. Hubbard, *The Enzymes*, P. D. Boyer, H. Lardy et K. Myrbäck, 2e éd., vol. 3, Acad. Press, New-York, 1960, p. 369-386.

(5) B. Pullman et A. Pullman, *Les théories électroniques de la Chimie organique*, Masson, Paris, 1952.

(6) J. R. Platt, *Science*, 129, 1959, p. 372.

(7) J. Glover et E. R. Redfearn, *Bioch. J.*, London, 58, XV, 1954.

(8) La valence libre d'un carbone s'obtient en soustrayant d'une constante la somme des indices des liaisons partant de ce carbone.

(9) Cité par J. S. Lowe et R. A. Morton, *Vitamins and Hormones*, 14, 1956, p. 97.

PHARMACOLOGIE. — *Étude pharmacodynamique de l'aubier de* Tilia sylvestris *Desf. Mécanisme de l'effet spasmolytique intestinal.* Note (*) de MM. **Raymond Cahen**, **Claude Hirsch** et **André Pessonnier**, présentée par M. Léon Binet.

L'effet spasmolytique intestinal de l'aubier de tilleul est essentiellement musculotrope et n'est que faiblement neurotrope. Il est également d'origine ganglioplégique.

Le nébulisat d'aubier de *Tilia sylvestris* Desf. relâche le spasme de l'intestin provoqué par le chlorure de baryum ([1]). Nous avons recherché si cet effet, d'une part, s'observe vis-à-vis d'un autre poison musculotrope, d'autre part, s'il s'exerce également vis-à-vis de poisons neurotropes et ganglionnaires.

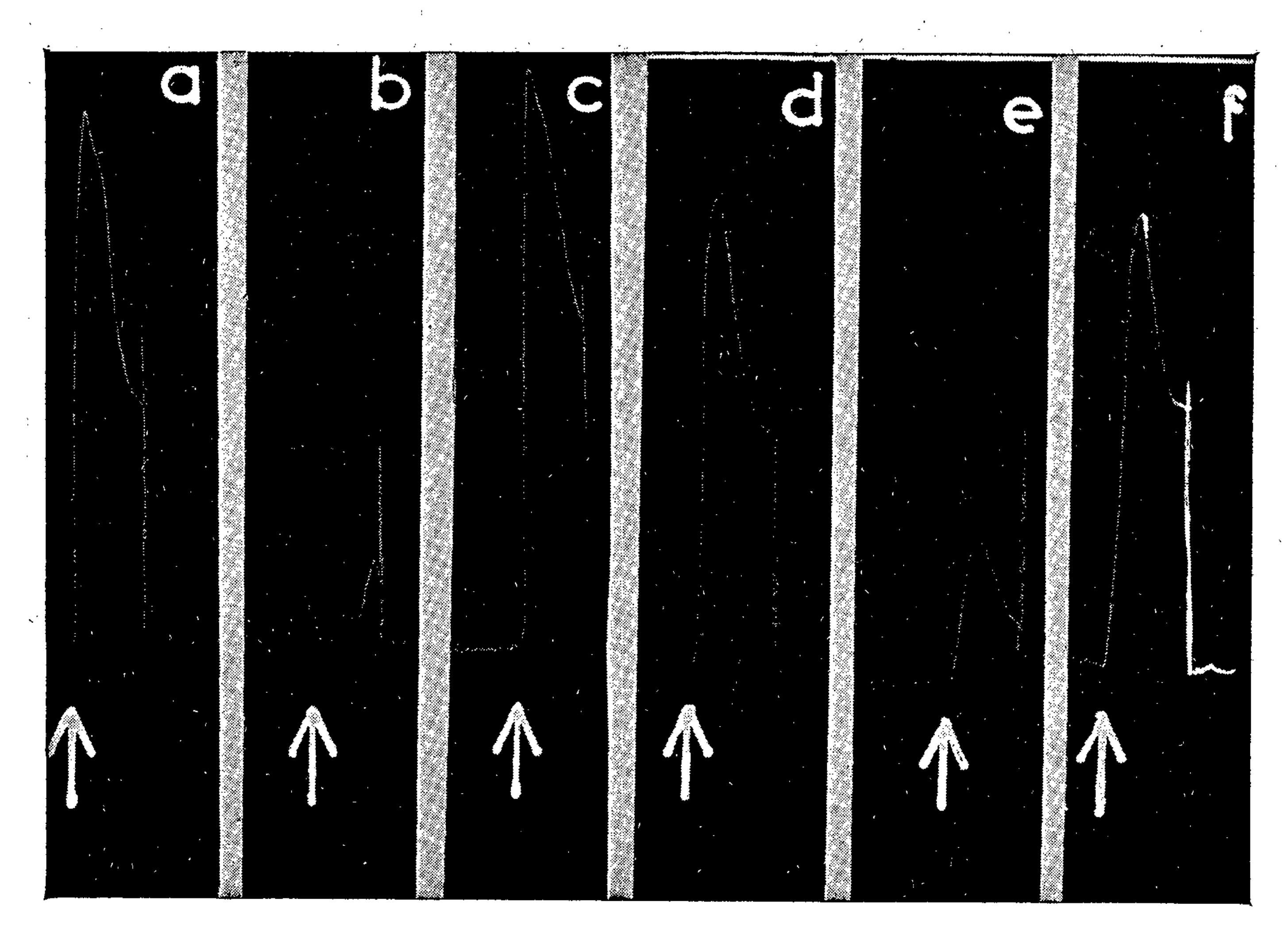


Fig. 1. — Effet ganglioplégique du nébulisat d'aubier de tilleul.
↑ DMPP : 3 μg/ml; *a.* DMPP seul; *b.* DMPP précédé 5 mn auparavant par l'addition de 3 mg/ml (soit concentration 3.10^{-3}) de nébulisat; *c.* DMPP seul après 6 mn; *d.* DMPP seul; *e.* DMPP précédé 5 mn auparavant par l'addition de 3 μg/ml (soit concentration 3.10^{-6}) d'hexaméthonium hydraté; *f.* DMPP après 6 mn de repos.

1. *Effet musculotrope.* — L'effet spasmolytique musculotrope a été confirmé en utilisant l'histamine dont l'effet s'exerce exclusivement sur la fibre musculaire lisse ([2]). Douze essais ont été réalisés sur le duodénum de lapin isolé enregistré par la technique de Magnus ([3]), dans du milieu de Tyrode maintenu à + 37°. Le nébulisat d'aubier de tilleul administré 1 mn auparavant diminue le spasme produit par le chlorhydrate d'histamine (50 μg/ml). L'effet du nébulisat d'aubier de tilleul est proportionnel à la

concentration dans le milieu de Tyrode croissant entre 0,25 et $1,66.10^{-3}$; l'effet est réversible par lavage.

2. *Effet ganglioplégique.* — Selon Feldberg (2) l'action du baryum sur la préparation intestinale est, partiellement, d'origine ganglionnaire. On peut donc se demander si l'effet inhibiteur du nébulisat d'aubier de tilleul vis-à-vis du spasme barytique observé précédemment (1) n'est pas dû, en partie, à une paralysie des ganglions du plexus myentérique. La possibilité d'utiliser un échantillon d'iodure de 1.1-diméthyl-4-phénylpipé-

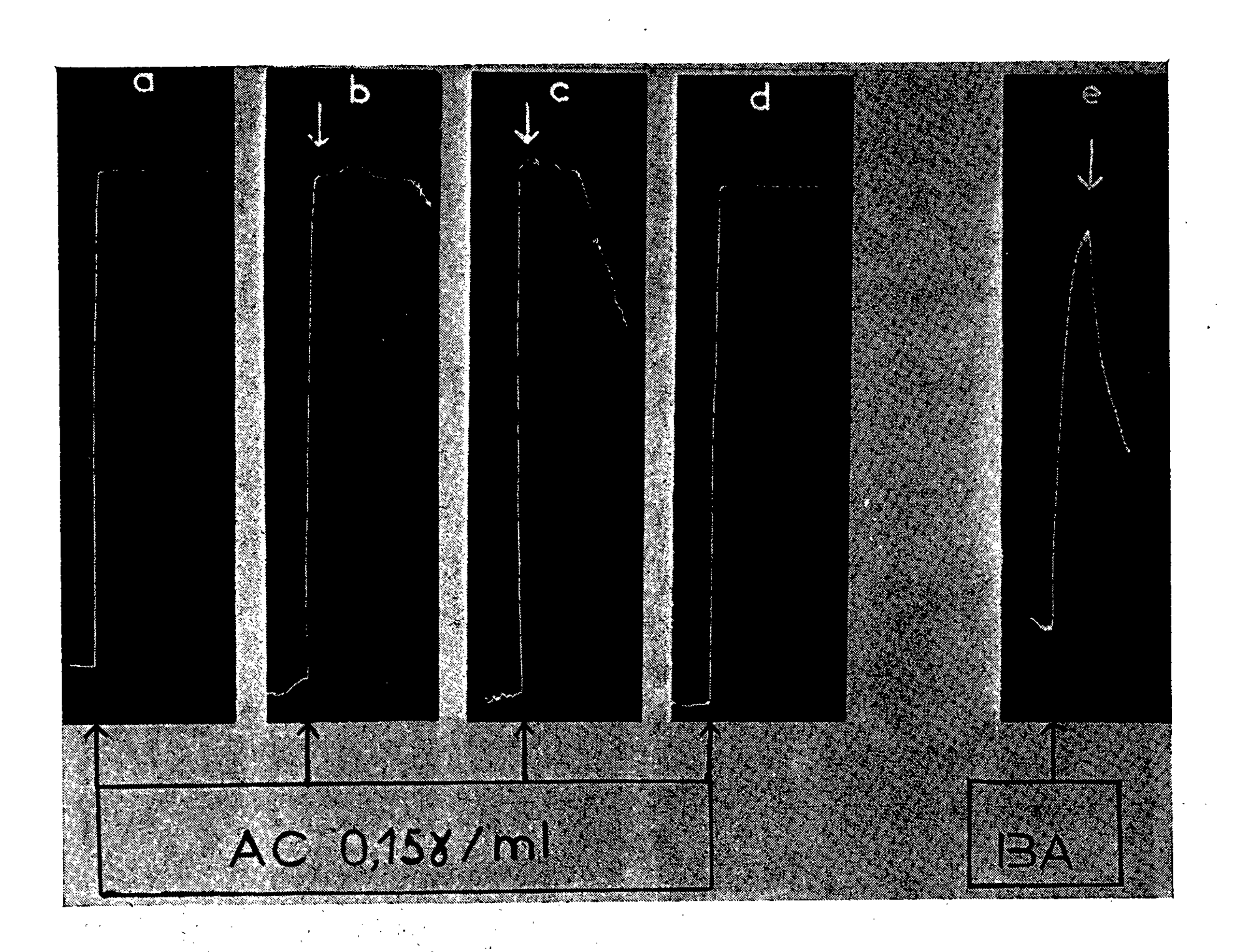


Fig. 2. — Effet spasmolytique neurotrope du nébulisat d'aubier de tilleul.
↑ AC, acétylcholine 0,15 μg/ml; *a.* acétylcholine seule; *b.* acétylcholine suivie de ↓ 4 mg/ml (soit concentration 4.10^{-3}) nébulisat d'aubier de tilleul; *c.* acétylcholine suivie de ↓ 17 mg/ml (soit concentration $1,7.10^{-2}$) nébulisat; *d.* acétylcholine seule; *e.* BA, chlorure de baryum 10^{-4} suivi de ↓ 1,7 mg/ml (soit concentration $1,7.10^{-3}$) de nébulisat.

razinium (DMPP), poison purement excito-ganglionnaire (4), (5), a permis de vérifier le bien-fondé de cette hypothèse.

Sur l'iléon de cobaye maintenu en survie à + 36° dans du milieu de Tyrode traversé par un courant de carbogène, on a suivi, avec des modifications de détail, la technique de Fakstorp et Pedersen (6). Dans sept essais, l'effet contracturant de DMPP (1,5 à 7 μg/ml de milieu de Tyrode) est totalement empêché si 5 mn auparavant on ajoute à l'organe isolé le nébulisat d'aubier de tilleul à des concentrations variant de 2 à 5.10^{-3}. Dans sept autres essais, l'effet contracturant du DMPP est diminué de 50 %, par addition de nébulisat d'aubier à des concentrations

de 2 à 4.10^{-6}. Cet effet étant réversible par lavage, il a été possible sur quatre organes d'étudier comparativement sur la même préparation, l'effet ganglioplégique de l'hexaméthonium; celui-ci, à la concentration de 3.10^{-3}, exerce la même diminution de la contraction provoquée par DMPP (*fig.* 1).

3. *Effet neurotrope.* — Il est significatif de constater que le nébulisat d'aubier de tilleul exerce un effet spasmolytique neurotrope mais à un degré infiniment moindre que l'effet musculotrope. Neuf essais ont été effectués sur le duodénum de rat mis en survie dans du Locke maintenu à + 32° [7]. Le spasme produit par l'acétylcholine (0,15 μg/ml) n'est diminué que de 45 %, en moyenne, par addition de nébulisat d'aubier de tilleul, même à la concentration de $1{,}7.10^{-2}$; le spasme acétylcholinique n'est relâché que de 22 % en moyenne à la concentration de $8{,}5.10^{-3}$. Sur le même organe, le même effet antispasmodique musculotrope (diminution de 50 % du spasme barytique) du nébulisat d'aubier de tilleul s'observe à la concentration de $1{,}7.10^{-3}$ (*fig.* 2); la diminution du spasme histaminique s'exerce à la concentration de $1{,}7.10^{-3}$.

Conclusion. — L'effet spasmolytique intestinal du nébulisat d'aubier de tilleul est essentiellement musculotrope. L'antagonisme vis-à-vis du chlorure de baryum et de l'histamine s'observe à des doses 10 fois plus faibles que vis-à-vis de l'acétylcholine.

Le nébulisat d'aubier de tilleul exerce également un effet ganglioplégique sur l'iléon de cobaye soumis à l'action excitoganglionnaire de l'iodure de 1.1-diméthyl-4-phénylpipérazinium. Cet effet ganglioplégique expliquerait partiellement l'inhibition du spasme barytique par l'aubier de tilleul.

On peut supposer que l'effet du nébulisat d'aubier de tilleul s'exerce essentiellement sur la fibre lisse et non sur les terminaisons nerveuses de la paroi intestinale; son action s'accompagne d'une paralysie des ganglions du plexus myentérique.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) R. CAHEN, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3743.
(2) W. FELDBERG, *J. Physiol.*, 113, 1951, p. 483.
(3) R. MAGNUS, *Arch. Ges. Physiol.*, 102, 1904, p. 123.
(4) G. CHEN, R. PORTMAN et A. WICKEL, *J. Pharmacol. Exp. Therap.*, 103, 1951, p. 330.
(5) R. CAHEN et K. TVEDE, *J. Pharmacol. Exp. Therap.*, 105, 1952, p. 166.
(6) J. FAKSTORP et J. PEDERSEN, *Acta Pharmacol. et toxicol.*, 10, 1954, p. 7.
(7) JEANNE LÉVY, *C. R. Soc. Biol.*, 133, 1940, p. 374.

(*Centre de Recherches, 1, rue Georges-Médéric, Maisons-Alfort, Seine.*)

La séance est levée à 15 h. 45 m.

R. C.

ERRATUMS.

(*Comptes rendus* du 25 juillet 1960.)

Note présentée le 18 juillet 1960, de M. *Roger Buis*, Influence, chez les arbres, de l'âge des blessures sur leur cicatrisation :

Page 579, 6e ligne, *au lieu de* mesures, *lire* blessures.
» » 36e ligne, *au lieu de* b_y/x, *lire* $b_{y/x}$.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 10 OCTOBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

M. **Pierre Tardi** rend compte à l'Académie de la XII[e] Assemblée générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (U. G. G. I.) qui s'est tenue à Helsinki du 25 juillet au 6 août 1960.

La délégation française qui avait été désignée par l'Académie avait été renforcée par un certain nombre de participations individuelles, agréées par le Comité National de Géodésie et Géophysique. En l'absence du Président du Comité National empêché par son état de santé, elle était présidée par M. Jean Coulomb, premier Vice-Président du Comité National.

Il est rappelé que l'U. G. G. I. est une fédération de sept Associations scientifiques internationales qui jouissent en fait d'une assez grande autonomie (Géodésie, Seismologie, Météorologie, Magnétisme et Aéronomie, Océanographie physique, Volcanologie et Hydrologie scientifique).

Le Secrétariat général de l'U. G. G. I. fonctionne à Paris depuis 1951 sous la direction de l'Ingénieur général Georges Laclavère, qui a été réélu à Helsinki pour une nouvelle période de trois ans. Deux des sept Associations constituantes (Géodésie et Seismologie) ont également leurs Secrétariats en France.

Le nombre des nations adhérentes est actuellement de 59. Il sera porté incessamment à 65. L'U. G. G. I. se trouve ainsi l'Union Scientifique internationale comportant le plus grand nombre de nations adhérentes.

Le caractère principal de l'U. G. G. I. réside dans le fait qu'elle a à s'occuper de l'organisation matérielle de travaux de caractère international exécutés sur le terrain par les différentes Nations adhérentes et dans les différentes disciplines intéressées. Et cela sans préjudice de l'étude de très nombreuses questions scientifiques de caractère plus académique. C'est ce double caractère qui explique à la fois le très grand nombre de délégués prenant part aux assemblées générales et le budget de cette Union relativement plus élevé que celui de certaines autres Unions et qui devra encore être développé.

Lorsqu'il s'agit d'opérations sur le terrain de grande envergure, dans lesquelles certaines autres Unions internationales peuvent être intéressées, le Conseil international des Unions scientifiques crée des *Comités spéciaux* qui sont en général rattachés à une Union mère.

Ainsi en a-t-il été du Comité Spécial pour l'Année Géophysique Internationale, le C. S. A. G. I.. Une autre organisation le C. I. G. (Coopération Internationale en Géophysique) est maintenant chargée, au sein de l'U. G. G. I. de liquider les opérations de l'Année Géophysique et d'en publier les résultats.

Le Comité Spécial de Recherches Océaniques (S. C. O. R.), le Comité Spécial de Recherches Antarctiques (S. C. A. R.) ont de profondes attaches dans l'U. G. G. I. qui vient par ailleurs de créer un Comité de liaison avec le Comité Spécial de Recherches Spatiales ou C.O.S.P.A.R.

Indépendamment de ces Comités spéciaux fonctionnent des *Services permanents* au nombre d'une quinzaine, qui sont groupés dans une Fédération ayant un budget autonome et gérés en commun avec l'Union Astronomique Internationale. (Fédération des services permanents d'Astronomie et de Géophysique). Parmi ces services on peut citer le Bureau International de l'Heure et le Bureau Gravimétrique International qui ont leur siège à Paris. Il faut encore mentionner l'Organisation Météorologique Mondiale (O. M. M.) différente de l'Association Internationale de Météorologie et spécialement chargée de l'organisation des réseaux météorologiques à l'échelle mondiale. Ces organisations sont évidemment complexes. Mais les problèmes posés, il faut bien le reconnaître, le sont aussi.

Très bien organisée par les géophysiciens finlandais, l'Assemblée générale d'Helsinki présentait au point de vue scientifique tous les avantages, mais aussi tous les inconvénients des réunions très vastes : mises en contacts des idées et mises en contacts des hommes. Mais il y eut encore, surtout compte tenu des graves problèmes d'organisation qui se posaient, trop de « communications » qui ne furent pas toutes d'un égal intérêt.

Aussi la coutume se répand-elle de plus en plus d'organiser en marge des Assemblées générales, des colloques dont les communications ou les rapports préalables soient expressément demandés à des auteurs choisis et donnent lieu à des discussions.

Devant l'inflation dont sont menacées les grandes Unions scientifiques internationales, il y a là une mesure de parade qui se généralisera certainement de plus en plus dans les diverses disciplines.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

L'Académie est informée des **Journées internationales d'étude des eaux**, qui auront lieu à Liège, du 5 au 7 juin 1961.

M. **Albert Vandel** adresse en hommage à l'Académie un volume intitulé : Faune de France. 64. *Isopodes terrestres* (Première partie). Il s'est efforcé, dans cet Ouvrage, non seulement de fournir les données morphologiques et systématiques relatives aux Oniscoïdes, mais encore de rassembler tout

ce que l'on sait sur l'écologie, la reproduction et la répartition géographique de ces Crustacés. Il s'agit, en somme, et à proprement parler, d'une « Histoire naturelle » des Isopodes terrestres français.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Ciba foundation symposium on haemopoiesis. Cell production and its regulation.*

2° Étienne Chabrol. *L'œuvre prophylactique de l'Académie nationale de médecine depuis le centenaire de Pasteur.*

3° Colloques internationaux du Centre national de la recherche scientifique. XCV. *Les recherches galactiques et extragalactiques et la photographie électronique. Paris,* 30 *juin*-3 *juillet* 1959.

4° Commissariat à l'énergie atomique. *Étude de la trempe et du revenu à la température ordinaire d'alliages uranium-chrome, uranium-fer et uranium-molybdène, à faible teneur en élément d'alliage,* par Jean Delaplace (Thèse, Nancy).

5° Id. *Réalisation d'un spectromètre à scintillations et à paires pour la détection des rayonnements* γ *d'énergie comprise entre* 2 *et* 20 MeV, par J.-P. Longequeue (Thèse, Grenoble).

6° Mémorial des sciences mathématiques. CXLIV. *Approximation by bounded analytic functions,* by Joseph Leonard Walsh.

7° Id. CXLV. *Fonctions hypergéométriques de plusieurs variables et résolution analytique des équations algébriques générales,* par Giuseppe Belardinelli.

8° National Museum of Canada. *Canadian Atlantic sea shells,* by E. L. Bousfield.

9° Id. *Les mammifères du Canada,* par Austin W. Cameron.

10° Instituto de investigação científica de Angola. *Memórias e trabalhos.* I. *Essências florestais de Angola. Estudo das suas Madeiras.* I. *Região dos dembos. Ecologia e anatomia,* por Rui F. Romero Monteiro; *Ensaios físicos,* por Emilio Carita Frade.

11° Id. Centro de documentação cientifica. *Boletim bibliográfico.* n° 1, 2.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

HYDRAULIQUE. — *Étude du débit d'aspiration des seuils déversants à fente aspiratrice.* Note de MM. **Léopold Escande** et **Fabien Sananes**.

Détermination sur un modèle à grande échelle du débit d'aspiration nécessaire au fonctionnement correct des seuils à fente aspiratrice. Mise en évidence d'un effet d'échelle.

Le grand intérêt des seuils déversants à fente aspiratrice réside dans le coefficient de débit élevé que permet d'obtenir une aspiration suffisante. Il faut donc déterminer, dans les diverses conditions d'utilisation envisagées, les valeurs du débit d'aspiration nécessaires pour éviter tout décollement et obtenir, par suite, le meilleur coefficient de débit.

Cette détermination a été faite, à l'échelle semi-industrielle sur un prototype de seuil déversant à fente aspiratrice monté dans le grand canal d'expériences du Laboratoire de Banlève de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse. Les caractéristiques du barrage sont les suivantes : largeur, 4 m; hauteur, 2,10 m; seuil circulaire de rayon, 7,5 cm; inclinaison du parement aval sur l'horizontale, 45°.

Le système d'aspiration comprend une fente de largeur 3 cm débouchant dans un collecteur cylindrique de diamètre intérieur, Ø = 145 mm, lui-même relié à l'aval par quatre tuyaux de même diamètre (*fig.* 1).

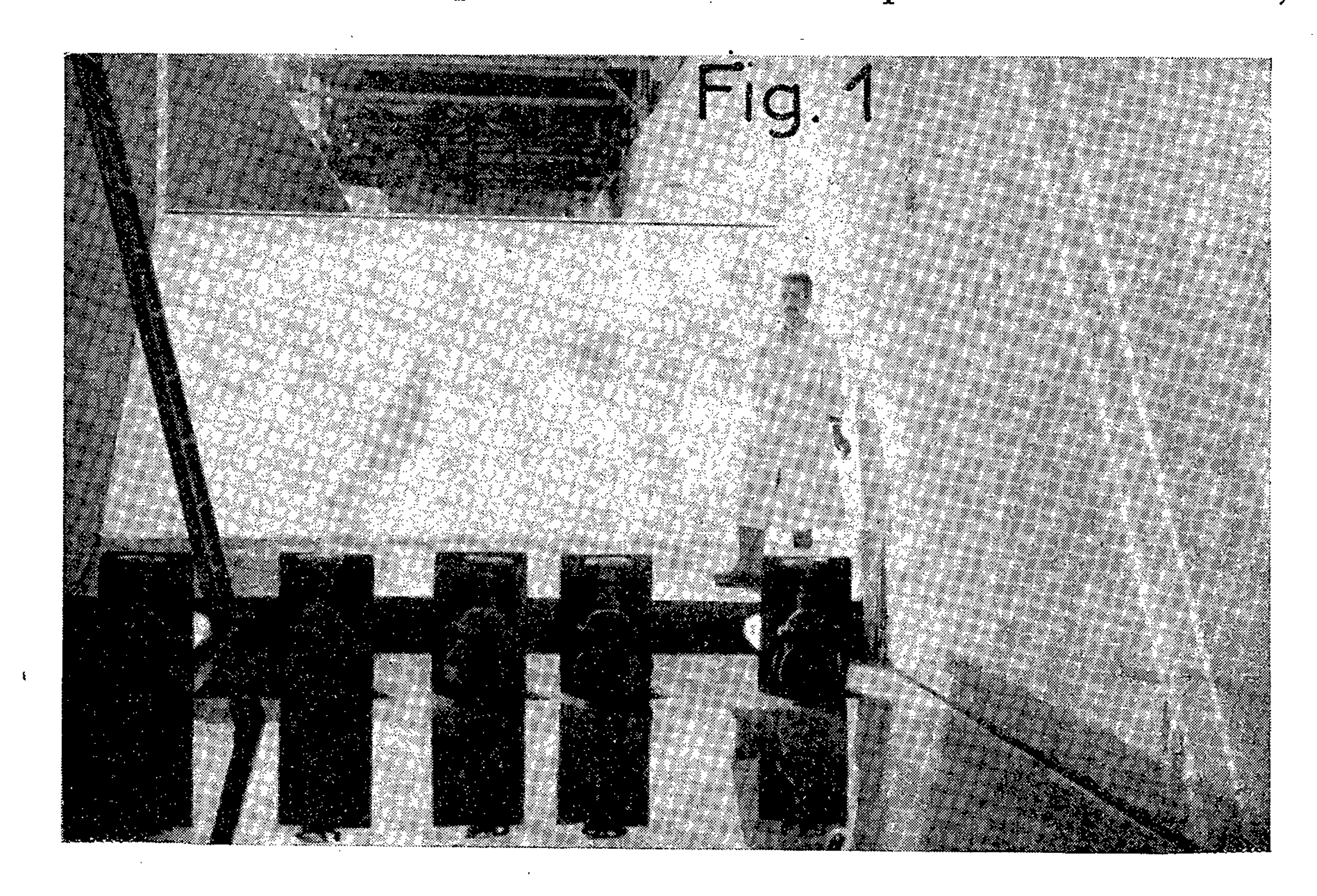
Dans cette série d'expériences, nous faisons débiter les quatre tuyaux, à la sortie de la vanne de réglage, dans une conduite réunie à une pompe aspiratrice. Nous pouvons ainsi faire varier le débit d'aspiration total en maintenant une égale répartition entre les quatre tuyaux, par action sur les quatre vannes individuelles et observation des indications fournies par les diaphragmes de mesure correspondants.

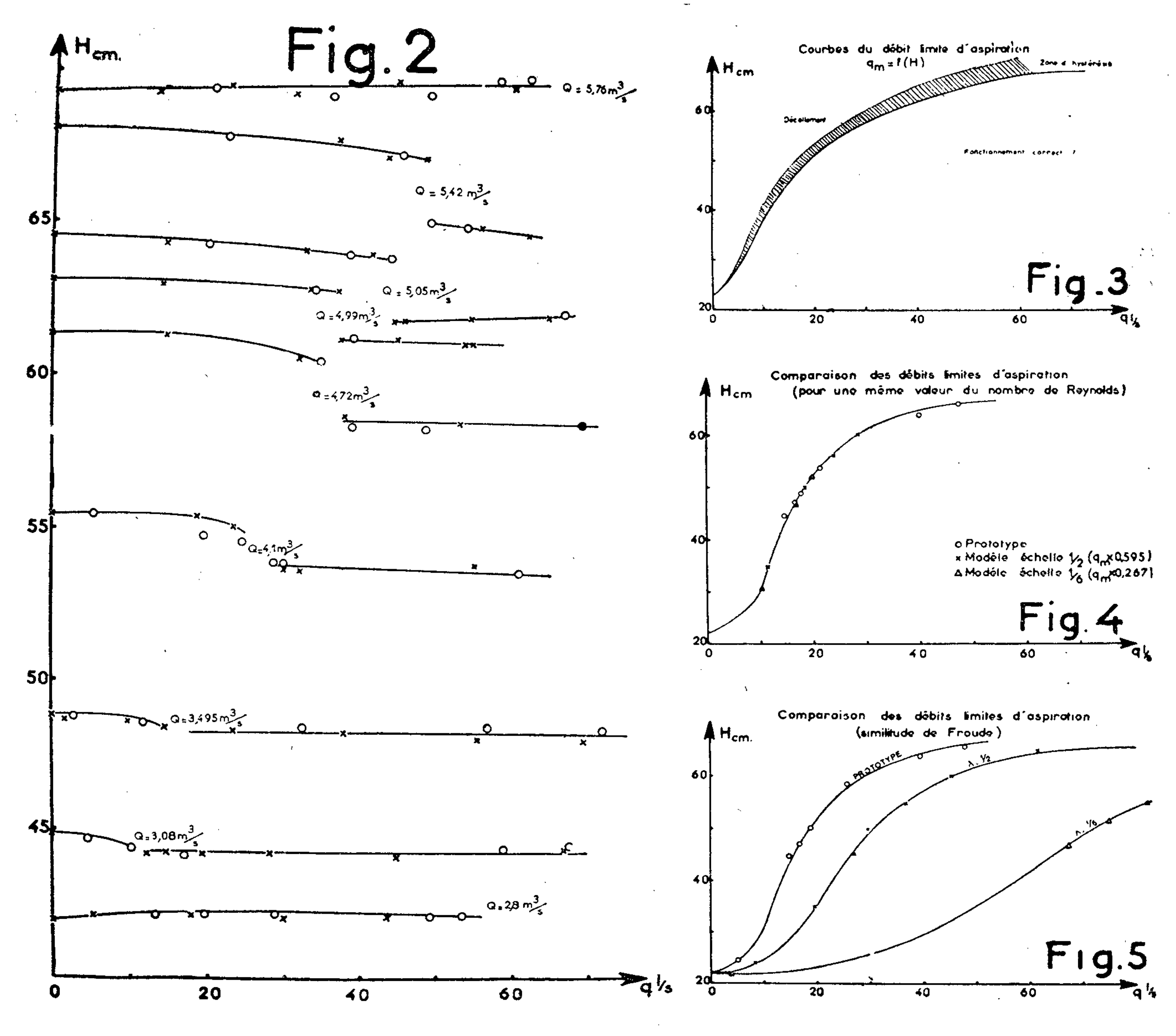
Pour différentes valeurs du débit total, nous relevons ainsi les charges correspondant aux divers débits d'aspiration (*fig.* 2).

On voit que, pour des valeurs du débit total de l'ordre de 5 000 à 5 500 l/s, la variation de charge, d'abord à peine sensible avec le débit d'aspiration, subit une décroissance brusque au moment où ce débit d'aspiration atteint la valeur limite pour laquelle le décollement est supprimé.

En opérant à débit d'aspiration croissant puis décroissant nous avons mis en évidence le phénomène d'hystérésis déjà noté lors de l'étude sur petits modèles [1]. Pour des valeurs du débit d'aspiration supérieures à ce débit limite, la charge reste pratiquement constante. Le phénomène est moins net pour le débit de 5 760 l/s pour lequel le montage expérimental ne permet pas de réaliser un débit d'aspiration suffisant.

La valeur du débit d'aspiration la plus intéressante pour les applications correspond à la plus grande des deux valeurs encadrant la zone d'hystérésis et c'est celle que nous retiendrons pour le débit limite, débit





d'aspiration au-dessus duquel le fonctionnement correct des seuils à fente aspiratrice est assuré dans tous les cas.

Nous reportons sur la figure 3 la courbe donnant les variations de ce débit limite d'aspiration en fonction de la charge d'utilisation. On distingue sur cette figure les zones de décollement et de fonctionnement correct séparées par la zone d'hystérésis.

D'autre part, nous avons comparé le prototype à deux autres modèles qui lui étaient semblables aux échelles respectives de 1/2 et 1/6.

Nous avons constaté que la similitude de Froude s'applique très bien aux valeurs du coefficient de débit et de la dépression en crête (2).

Par contre, en reportant les valeurs du débit limite d'aspiration obtenues sur ces divers modèles à l'échelle du prototype, on constate que la similitude de Froude ne s'applique guère au phénomène. Comme le montre la figure 4, au lieu d'obtenir une courbe unique, on obtient trois courbes très différentes : le débit limite d'aspiration, pour une charge donnée est d'autant plus grand en valeur relative que l'échelle est plus petite. Ce phénomène s'explique par le fait que la couche limite dépend du nombre de Reynolds. On constate sur la figure 4 que si l'on corrige les résultats obtenus sur les deux petits modèles en multipliant les débits limites par $\lambda^{3/4}$ (λ étant l'échelle de similitude) on obtient des points qui se groupent pratiquement sur une même courbe : étant donné que, dans la similitude de Froude, les nombres de Reynolds sont multipliés par $\lambda^{3/2}$, on en déduit que les débits limites sont proportionnels à $1/\sqrt{R}$ dans la limite de nos expériences.

(1) F. SANANES, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2226.
(2) L. ESCANDE et F. SANANES, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1839.

OCÉANOGRAPHIE. — *Les sédiments des vallées sous-marines au large dans le Golfe de Gênes.* Note de MM. **Jacques Bourcart, Maurice Gennesseaux, Éloi Klimek** et Mme **Yolande Le Calvez.**

Dans deux Notes précédentes (1958 et 1960), l'équipe de la Station océanographique de Villefranche-sur-Mer avait exposé des résultats de carottages faits à grande profondeur dans la vallée sous-marine de Nice, au cours de deux croisières de la *Calypso*. Dès la profondeur de 1 910 m, cette vallée a son fond rempli de sables fluviatiles granoclassés qui contiennent fréquemment des fragments de bois déposés depuis moins de deux siècles.

Plusieurs de ces carottes montraient [*voir* aussi la carte, figure 1 de la Note de 1960 (1)] deux séquences de sédiments, la fin d'une séquence étant toujours faite d'une vase très fine qui est érodée avant le dépôt de la partie grossière de la séquence suivante.

Nous avions été étonnés de trouver dans cette vallée, à 2 410 m de profondeur, à la base d'une série sableuse (C 101), de gros galets atteignant 5 cm. Cette carotte avait été prélevée juste au confluent de la vallée sous-marine de la Roya, rivière descendant du Mercantour et atteignant la mer à Vintimille.

Dans une nouvelle croisière (*figure*), nous avons d'abord voulu vérifier que la présence de ces galets n'était pas localisée, mais que ceux-ci provenaient bien d'un écoulement turbide suivant la partie sous-marine, à forte pente, de cette rivière.

Cinq carottages y ont été effectués des abords de Vintimille au confluent avec la vallée sous-marine de Nice :

Le carottage C 112, à 800 m de profondeur dans le cirque initial, a donné :

de 0 à 65,6 cm : du sablon fin, fluent, avec quelques gros galets disséminés dans la partie inférieure;

de 65,5 à 75,5 cm : de gros galets, surtout de calcaire noir, noyés dans de la vase sableuse; ils érodent un fond de vase (partie supérieure de la séquence inférieure). Cette vase contient, avec quelques granules, de très nombreux débris végétaux, mais très peu de Foraminifères.

Le carottage C 111, à 1015 m, a donné :

de 0 à 22 cm : sablon un peu vaseux avec un gros galet à la base;
de 22 à 28 cm : sable grossier avec granules et petits galets;
de 28 à 38 cm : sables grossiers avec gros galets;
de 38 à 58 cm : vase grise très compacte (partie supérieure d'une autre séquence).

A 85 cm, le carottier atteint un fond dur de grès calcaires, qui peut représenter soit un gros bloc, soit le véritable fond rocheux de la vallée.

La vase de la base contient des Foraminifères benthiques qui vivaient sur ce fond, mais aussi des Foraminifères de faible profondeur qui y ont été transportés par le courant, beaucoup de débris végétaux et des scories de bateaux.

Le carottage C 116, à 1340 m de profondeur, a été fait sur le bord de la vallée dans la partie convexe d'un méandre. Sur 358 cm, la carotte n'a traversé que de la vase d'un gris beige à un gris noir, avec des traces charbonneuses par endroits et un débris de bois à 45 cm. Aucune couche de sable n'y est visible, à l'exception d'un lit de coquilles à Ptéropodes. La vase contient essentiellement des Foraminifères benthiques de petite taille et quelques très grosses Quinquéloculines.

Le carottage C 115, à 2 075 m, a traversé :

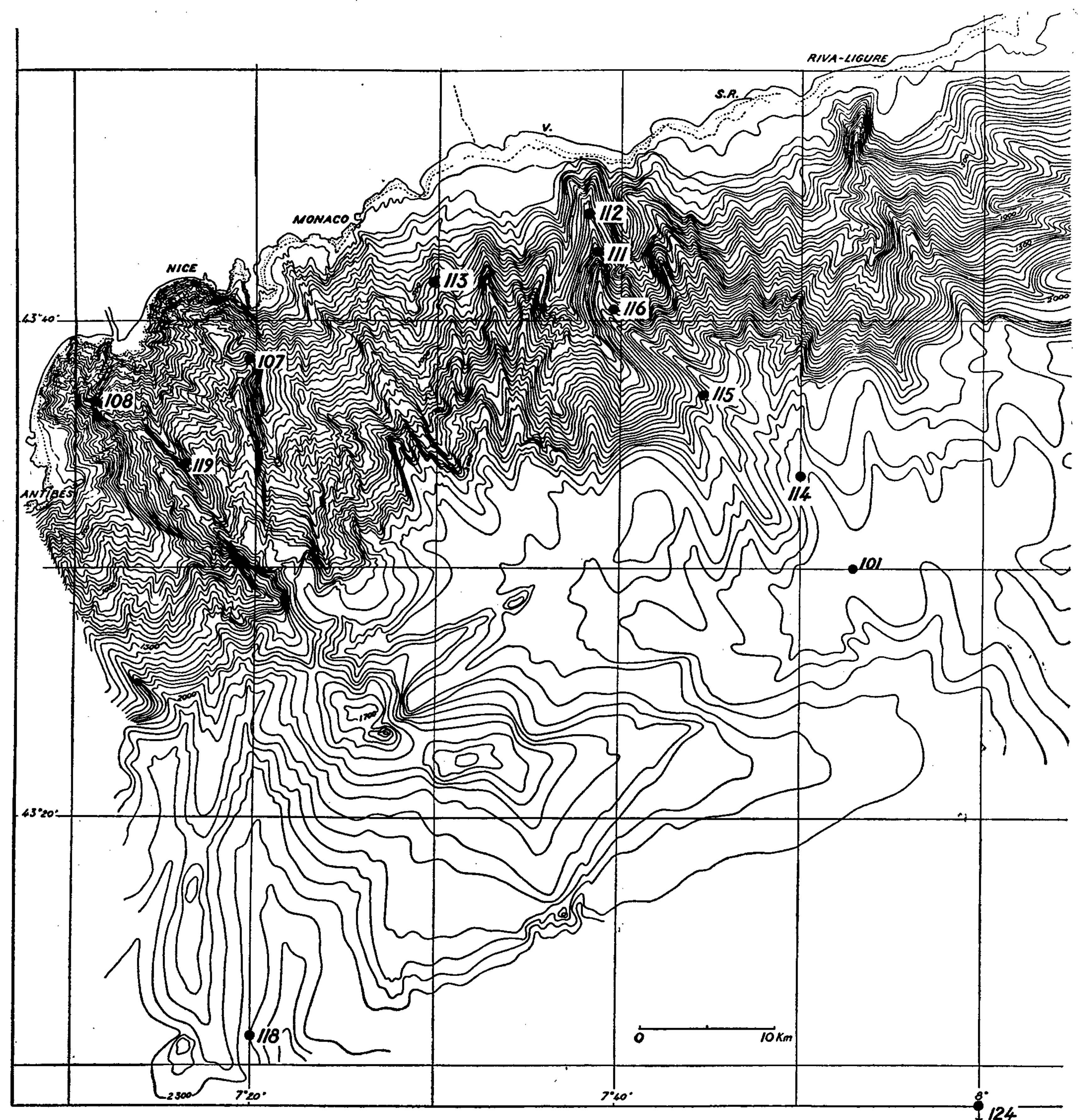
de 0 à 10 cm : de la vase sableuse en surface;

de 10 à 25 cm : du sable avec granules et quelques petits graviers;

de 25 à 55 cm : des sables grossiers de type fluviatile, avec granules et graviers de calcaire noir, granite leucocrate à muscovite, gneiss et pélites du Permien.

Le carottage C 114, à 2 287 m, a traversé successivement de la vase grise déposée calmement, mais avec sept passées de sables, en général fins, à l'exception d'une, à 252 cm, qui est faite de sables grossiers avec un gros galet (base de la séquence).

Rappelons que le carottage C 101 est immédiatement en aval, à 2 410 m de profondeur, et a fourni à la base de gros galets.



Nouveaux carottages dans les vallées sous-marines de Nice et de la Roya.

Tous ces galets sont identiques mais ils sont plus gros que ceux de la barre de la Roya à Vintimille; ils sont faits de roches du Mercantour ou de ses enveloppes, en général bien roulés, mais parfois brisés.

Un carottage, C 113, (3,75 m) a été fait sur l'interfluve qui, débutant au cap Martin, sépare la baie de Monaco de celle de Menton-Vintimille.

Cette carotte n'est faite que de vase grise, sans stratification. La vase contient beaucoup de débris coquilliers; elle est très riche en spicules d'Éponges et en Foraminifères benthiques non transportés, d'espèces identiques à celles qui vivent actuellement à cette profondeur.

Trois carottages ont été faits dans la baie des Anges entre 500 et 900 m pour compléter la documentation réunie en avril :

La carotte C 108, à 570 m, a recueilli 191 cm de vase grise sur les parois du ravin du Var; la carotte C 119, à 740 m, sur l'arête qui sépare le canyon du Var de celui du Paillon, est faite de vase très compacte (sous une couche d'épaisseur indéterminée de vase fluente); elle a traversé à la base 22 cm de vase très dure.

La carotte C 107, effectuée sur le prolongement sous-marin du cap Ferrat, à 860 m, a traversé 26 cm de vase fluente, mais contenant des galets de vase dure, puis 40 cm de vase très compacte, d'aspect analogue à celle de C 108. L'ogive du carottier s'est arrêtée sur des marnes grises pliocènes à *Amphistegina* et *Frondicularia*.

Deux autres carottages ont été faits sur le bord de la plaine abyssale :

La carotte C 118, à l'Ouest du prolongement sous-marin du cap d'Antibes, à 2 520 m de profondeur, a traversé 486 cm de vase grise avec de très nombreuses passées de sable fin, dont certaines atteignent 4 cm d'épaisseur, et quelques lits uniquement faits de coquilles de Ptéropodes (*Favella adriatica*). La microfaune de Foraminifères pélagiques, à la base de la carotte, est remarquable par sa petite taille et peut suggérer une mer froide.

La dernière carotte, C 124, à 2 520 m de profondeur, au Sud de la terminaison de la rivière de Nice, a traversé 64 cm de vase jaune avec de très nombreux passages de sable et un lit de Ptéropodes. Le reste de la carotte, soit 77 cm, est constitué par de la vase grise avec de très nombreuses bandes de sablons ou de sables fins avec des débris de coquilles de Ptéropodes. Quand ces couches sont importantes, elles sont oxydées à la base au contact de la vase, sur 2 ou 3 mm environ. Le contenu en Foraminifères est presque exclusivement pélagique avec quelques formes benthiques profondes (*Bolivina*).

Une carotte avait été prélevée dans la plaine abyssale, à 2 690 m de profondeur, en 1958. Elle contenait encore des flammes de sablons.

A notre avis, on peut donc considérer comme démontré que, si les interfluves sont uniquement recouverts de vases plaisanciennes, quaternaires ou actuelles, le fond des vallées sous-marines est entièrement rempli de dépôts fluviatiles grossiers récents qui s'ordonnent en séquences granoclassées, s'érodant l'une l'autre. Le bord des vallées peut en revanche, surtout sur la rive convexe, être occupé uniquement par de la vase fine.

Quant à la plaine abyssale, son comblement semble être autant dû à la sédimentation pélagique qu'à des produits de débordement des écoulements turbides qui se sont faits en dehors du lit des vallées.

Le fond pliocène a été atteint au moins une fois; dans d'autres cas, des Foraminifères remaniés de cet âge montrent qu'il n'est pas loin.

Les vases du Précontinent contiennent toujours des fragments végétaux tels que : feuilles d'arbres, fragments de bois, de roseaux, graines de *Chara*, qui ne peuvent avoir été amenées que par des crues des fleuves, puis entraînées au large, comme les sables, par des courants de fond. Il reste à mesurer les vitesses de ces courants et à recueillir les sédiments qu'ils transportent.

(1) J. Bourcart, G. Boillot, J. Y. Cousteau, M. Gennesseaux, E. Klimek et Cl. Lalou, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 117; J. Bourcart, M. Gennesseaux et E. Klimek, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3671.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Stéréospécificité dans la réaction de Reformatsky. Étude des méthyl-2 acétyl-1 cyclohexènes 1 et 2.* Note (*)
de M. **Max Mousseron**, Mme **Magdeleine Mousseron-Canet** et M. **Joseph Neyrolles.**

Les méthyl-2 acétyl-1 cyclohexène-1 (I) et méthyl-2 acétyl-1 cyclohexène-2 (II) ont été traités par le bromacétate et l'α-bromopropionate d'éthyle en présence de zinc. La déshydratation des alcools-esters provenant des isomères (I) et (II) donnent les mêmes esters à carbonyle conjugué se transformant en lactones α, β-éthyléniques prouvant ainsi leur stéréochimie cis ([1]).

L'examen des modèles moléculaires permet, lors de la juxtaposition des composés (I) et (II) avec l'énol bromozincique, de faire apparaître des complexes cycliques privilégiés dont la décomposition donne naissance à des alcools-esters de conformation telle que la trans-élimination sera facilitée et donnera des acides α, β-éthyléniques cis.

Le méthyl-2 acétyl-1 cyclohexène-1 qui a été utilisé présentait un λ_{max} 249 mμ, ε 7 000 et pouvait être considéré comme aussi pur que possible. Dès lors le fait d'obtenir à partir de ce composé de fortes proportions de produits α, β-éthyléniques et non α, β-γ, δ-éthyléniques nous incite à envisager une isomérisation partielle de (I) en (II) au cours de la réaction; (II) ne présentait aucune absorption dans l'ultraviolet et montrait dans l'infrarouge une bande carbonylée unique à 5,84 μ ([1]). Avec le bromacétate d'éthyle on obtient l'alcool-ester $C_{13}H_{22}O_3$ (calculé %, C 68,99; H 9,80; trouvé %, C 69,02; H 9,89) qui est déshydraté par chauffage 5 h à 180° avec SO_4KH. Le produit de la déshydratation est constitué par une δ-lactone et par un ester, l'un et l'autre également α, β-éthylénique.

Ce mélange réduit par $AlLiH_4$ a donné un glycol correspondant à l'ouverture de la δ-lactone et un monool provenant de la réduction de l'ester.

La chromatographie sur alumine neutre permet de séparer le monool $C_{11}H_{18}O$ (calculé %, C 79,46; H 10,92; trouvé %, C 79,21; H 10,89); OH libre 2,75 μ, du glycol $C_{11}H_{20}O_2$ (calculé %, C 71,69; H 10,94; trouvé %, C 71,71; H 10,96); OH libre 2,75 μ; OH associé 2,89 μ.

D'un autre côté le mélange ester δ-lactone saponifié, donne naissance à un mélange d'acide et d'acide-alcool immédiatement relactonisé par HCO_2H à froid en δ-lactone 5,81 μ, F 96-97°, λ_{max} 217 mμ, ε 9 100, $C_{11}H_{16}O_2$ (calculé %, C 73,30; H 8,95; trouvé %, C 73,18; H 8,93), alors que l'acide éthylénique 5,92 μ, $C_{11}H_{16}O_2$ (calculé %, C 73,30; H 8,95; trouvé %, C 73,09; H 9,02, λ_{max} 217 mμ, ε 12 200 peut être isolé par un lavage à la soude 2 N glacée et lactonisé par HCO_2H à chaud en la même δ-lactone F 96-97°. L'acide $C_{11}H_{16}O_2$ donne un ester *p*-bromophénacylique F 92-93°, $C_{19}H_{21}O_3Br$ (calculé %, C 60,48; H 5,61; trouvé %, C 60,62; H 5,71).

(II) est transformé en (I) par le méthylate de sodium (²). Le produit soumis à la réaction de Reformatsky présentait un λ_{max} 249 mμ, ε 7 000. La déshydratation de l'alcool-ester s'effectue sur SO_4KH mais dans des conditions beaucoup plus modérées que celles indiquées pour le composé dérivé de l'isomère (II), 2 h à 150° suffisent en effet à une déshydratation complète. Les résultats expérimentaux sont juxtaposables avec cependant une plus forte proportion de δ-lactone F 97° obtenue directement.

Le fait surprenant est constitué par l'isolement de l'acide α-β portant une double liaison en Δ_2. Il semble qu'il faille envisager une rétrogradation de la cétone (I) en cétone (II) au cours de la réaction de Reformatsky. La formation exclusive de composés α, β-éthyléniques de structure cis puisqu'ils donnent naissance à une δ-lactone, s'accorde particulièrement avec la forme privilégiée qui peut être déduite du complexe d'addition cétone-énol bromozincique. La présence du méthyle en 2 impose au carbonyle une situation déterminée.

Ces alcools-esters provenant de la réaction des cétones (I) et (II) avec l'α-bromopropionate d'éthyle montrent une très nette différence dans les vitesses relatives de déshydratation, l'alcool-ester provenant de la cétone (I) se déshydratant beaucoup plus aisément que celui fourni par la cétone (II). Les résultats finaux sont cependant juxtaposables et les données analytiques rapportées pourront être attribuées à l'une et l'autre provenance.

Les alcools-esters $C_{14}H_{24}O_3$ provenant de (I) et (II) se déshydratent en un même mélange de lactones α, β-éthyléniques et d'esters α, β-éthyléniques à double liaison cyclohexénique située en Δ_2. Par saponification et lactonisation, l'ester aboutit finalement à la δ-lactone α, β-éthylénique, $C_{12}H_{18}O_2$ (calculé %, C 74,19; H 9,34; trouvé %, C 74,11; H 9,28), λ_{max} 228 mμ, ε 7 000, 5,84 μ. Par chauffage cette δ-lactone s'isomérise partiellement en γ-lactone α, β-éthylénique 5,68 μ, qu'on isole d'ailleurs directement au cours de la lactonisation.

CH3 H CH3 / C / C—OEt / O Zn Br O ⟶ CH3 H CH3 / C / +C—OEt / O Zn Br O ⟶ CH3 / H CH3 / OH / CO2Et

Dans ce cas encore le bilan de la réaction fait apparaître une orientation totale de la déshydratation en cis. La construction du modèle de l'état de transition constitué par l'addition de l'énol bromozincique de l'α-bromopropionate d'éthyle sur les acétyl-1 méthyl-2 cyclohexènes donne une conformation de l'alcool-ester favorable à la trans-élimination conduisant à l'isomère cis.

Par contre l'addition de l'énol du côté défavorisé conduirait à un isomère de l'alcool-ester dont le processus de trans-élimination donnerait des esters α, β-éthyléniques trans impossibles à lactoniser.

De ces résultats, peut-être est-il permis de retenir que même dans le cas de déshydratation se produisant par un mécanisme proche de celui par ion carbonium, la conformation des esters-alcools initiaux joue un rôle d'induction stérique.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) MOUSSERON, MOUSSERON-CANET et NEYROLLES, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1325.

(2) RENO, HARRY et CHAFETZ, *J. Amer. Chem. Soc.*, 74, 1952, p. 3940.

GÉOPHYSIQUE. — *Sur l'état convectif interne du Globe et les phénomènes hydromagnétiques.* Note de M. **Alexandre Dauvillier.**

L'auteur discute l'échelle et la vitesse des courants convectifs thermiques internes, sur la base de la radioactivité des météorites. Ces vitesses s'accordent avec la durée des cycles volcano-orogéniques, mais non avec la théorie hydrodynamique du géomagnétisme.

1. Le bilan géothermique exige que la chaleur interne d'origine radioactive, soit apportée sous la croûte cristalline par le jeu de courants de convection thermiques. Si l'on se base sur le modèle de Roche et la radioactivité des diverses classes de météorites, on peut montrer (1) que cette chaleur se scinde en chaleur transmise par conduction dans la croûte (6.10^{12} cal/s) et en chaleur attribuable à l'énergétique volcano-orogénique (89.10^{12} cal/s). Les différences de densité entre le noyau, le sima et le sial, exigent au moins trois étages, distincts et superposés, de cellules convectives de plus en plus réduites, les plus superficielles provoquant les caractères géographiques. On peut trouver l'origine de ces cellules dans le réseau polygonal de tourbillons convectifs jointifs de Bénard (2) dans lequel P. Puiseux (3) a inscrit les reliefs lunaire et terrestre.

2. De tels courants ont été invoqués par Griggs, puis par F. A. Vening-Meinesz, pour rendre compte de l'orogenèse et de la dérive d'ensemble de la croûte terrestre. Mais ce savant les place dans toute l'épaisseur de la lithosphère. Or la différence de densité existant entre le sima et le sial atteint 10 % et dépasse celle qu'on peut attribuer à l'effet de la température et de la pression dans le sima fondu. Si de tels courants existaient depuis $4,5.10^9$ ans, la lithosphère serait devenue homogène, contrairement aux enseignements de la Séismologie. De même, peut on observer, à une autre échelle, dans certains estuaires tropicaux, de l'eau douce fluviale froide flottant en équilibre sur l'eau de mer chaude sous-jacente.

La vitesse moyenne de ces courants a été déduite de la durée des cycles orogéniques. Avec une période de l'ordre de 100 Méga-ans on trouve des vitesses d'une dizaine de centimètres par an.

3. Si l'on admet un état d'équilibre interne, l'énergie mécanique de ces courants étant empruntée à la chaleur radioactive et restituée en frottements, la mesure de la radioactivité des météorites pierreuses permet de fixer la limite supérieure de leur vitesse, en admettant un rendement de l'ordre du centième pour la « machine thermique » très particulière ainsi constituée. Cette radioactivité moyenne correspond à un dégagement thermique de $1,5.10^{-14}$ cal.g^{-1}.s^{-1} et il en résulterait une vitesse maximale égale à 30 m/an. Les valeurs admises sont donc fort plausibles, étant donné l'effet de la pression hydrolithostatique. Elles s'accordent avec les vitesses verticales de réajustement isostatiques, qui sont de l'ordre du centimètre par an.

4. Si l'on applique ces considérations au noyau de ferronickel central, on trouve une vitesse moindre, par suite de la plus faible radioactivité des sidérites. En admettant un dégagement de chaleur de 18.10^{-16} cal.g^{-1}.s^{-1}, la vitesse maximale permise est de 11 m/an. Or les théories hydromagnétiques voulant expliquer le géomagnétisme par l'« effet dynamo », telles que celles de Bullard (4) et de Elsasser (5), exigent une vitesse de circulation incomparablement plus grande. M. S. Colombo (6) a montré que le nombre de Reynolds magnétique estimé à $R_m = 4.10^5\, v$ pour le noyau, dans le système d'unités de Giorgi, doit être assez grand et au moins égal à 100, ce qui exige une vitesse v d'au moins 0,3 mm/s ou de 10 km/an, 1000 fois plus grande. D'autres difficultés résultent de la géométrie et de la symétrie des courants convectifs qu'on peut envisager dans le noyau, où ils seraient amorcés, dans le plan équatorial, par la rotation terrestre.

5. On arrive à la même conclusion en calculant la puissance spécifique de la « dynamo », nécessaire pour entretenir l'énergie géomagnétique, en l'absence de ferromagnétisme. Cette énergie est égale à $M^2/2R^3$, soit $8,3.10^{24}$ ergs. Avec le modèle de Roche, le plus favorable à la théorie, la masse du noyau est égale à 4.10^{27} g, ce qui correspond, à une puissance moyenne en régime d'équilibre, de 2.10^{-3} ergs.s^{-1}.g^{-1}, alors que l'énergie radioactive disponible ne dépasse pas $0,075.10^{-6}$ erg.s^{-1}.g^{-1}.

Ces considérations énergétiques semblent exclure la théorie de la dynamo comme inadéquate. Nous avons considéré (7) le géomagnétisme comme un phénomène paléovolcanique, ayant eu lieu dans le champ du rayonnement électronique solaire.

(1) A. Dauvillier, *Genèse, nature et évolution des planètes*, 1 vol., 350 pages, Hermann, Paris, 1947; *Le volcanisme lunaire et terrestre*, 1 vol., 300 pages, Albin-Michel, Paris, 1958.

(2) H. Bénard, *Thèse*, Paris, 1902; *Comptes rendus*, 154, 1912, p. 260.

(3) P. Puiseux, *La Terre et la Lune*, 1 vol., 176 pages, Gauthier-Villars, Paris, 1908.

(4) E. C. Bullard, *Proc. Roy. Soc.*, (A), 197, 1949, p. 433.

(5) W. M. Elsasser, *Rev. Mod. Phys.*, 22, 1950, p. 1; 28, 1956, p. 135; *Proc. Nat. Acad. Sc.*, 43, 1957, p. 14.

(6) S. Colombo, *Cahier de Physique*, n° 92, 1958, p. 129-153; n° 114, 1960, p. 55-67.

(7) A. Dauvillier, *Le magnétisme des corps célestes*, II, *Variations et origine du géomagnétisme*, 1 vol., 161 pages, Hermann, Paris, 1954.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

THÉORIE DES NOMBRES. — *Sur une équation diophantienne.*

Note (*) de M. **Roger Apéry**, présentée par M. Paul Montel.

On cherche $n \geqq 0$ tel que

$$\exists x\; p^n = x^2 + \mathrm{A}, \tag{1}$$

A est un entier donné > 0; $\mathrm{A} = k^2.\mathrm{D}$, où D est sans facteur carré. p est un entier premier impair ne divisant pas A. [Dans une précédente Note ([1]), nous avons traité le cas $p = 2$.]

Nécessairement x est étranger à A et de parité différente; l'idéal (p) est décomposé dans le corps $\mathrm{Q}(\omega)$, où $\omega^2 = -\mathrm{D}$,

$$(p) \overset{1}{=} \mathfrak{p}.\mathfrak{p}'.$$

Les idéaux fractionnaires de la forme $[(x + y\omega)/z]$, où x et y sont étrangers et de parité différente et où z est impair, constituent un sous-groupe Γ du groupe des idéaux principaux (fractionnaires). (Si $\mathrm{D} \not\equiv 3 \bmod 8$ ou $\mathrm{D} = 3$, Γ est le groupe Γ_0 des idéaux dont la norme est un quotient d'entiers impairs; si $\mathrm{D} \equiv 3 \bmod 8$ et $\mathrm{D} \neq 3$, Γ est un sous-groupe de Γ_0 d'indice 3). Les idéaux de Γ tels que k soit diviseur de y et étranger à z constituent un sous-groupe Γ' de Γ. Soit r le plus petit entier tel que $\mathfrak{p}^r \in \Gamma$, n doit être de la forme $l.r$.

Soit r le plus petit entier > 0 tel que

$$\exists a \exists b\; p^r = a^2 + \mathrm{A}.b^2 \tag{2}$$

si $b > 1$ l'équation (1) *est impossible, si $b = 1$ toute solution de* (1) *est de la forme $l.r$.*

Remarque. — Si $\mathrm{A} \neq 1$ les entiers > 0 a et b sont déterminés par la relation (2). Si $\mathrm{A} = 1$, il faut appeler b celui des deux qui est impair. L'équation (2) s'écrit en posant

$$\varphi = k\omega, \qquad \varphi^2 = -\mathrm{A}, \qquad \varepsilon = \pm 1;$$

$$\varepsilon(x + \varphi) = (a + \varphi)^l, \tag{3}$$

ε est une unité du corps.

Si l est une solution de la forme $l'.l''$, l' et l'' sont solutions

$$(a + \varphi)^2 = (a^2 - \mathrm{A}) + 2a\varphi,$$

$$2a \neq 1 \quad \text{si} \quad \mathrm{D} = 1, \quad a^2 - k^2 = \pm 1 \Rightarrow a = 0 \quad \text{ou} \quad k = 0,$$

2 n'est jamais solution, l est toujours impair.

L'unité ε est égale à ± 1 : si $D \neq 1,3$, il n'y en a pas d'autres; si $D = 3$, la multiplication de $(a + \varphi)^l$ par une racine cubique de l'unité introduit le dénominateur 2; si $D = 1$, et l impair, la partie réelle et le coefficient de ω dans $(a + \omega k)^l$ ont la même parité respective que a et k.

L'équation (3) s'écrit

$$\varepsilon\varphi = \frac{1}{2}[(a+\varphi)^l - (a-\varphi)^l] \tag{4}$$

Si a admet un diviseur impair q, appelons s le plus petit entier > 0 tel que

$$(-A)^s \equiv \pm 1 \pmod{q}, \qquad l = 1 + 2st.$$

Si $(-1/A)^s = 1 + \gamma q^\alpha$, où γ est de valuation q-adique nulle :

$$(1+\gamma q^\alpha)^t - 1 = \sum_{j=1}^{j=+\infty} C_{2st}^{2s} \frac{a^{2j}}{(-A)^j}. \tag{5}$$

Le terme de plus basse valuation est à gauche $t\gamma q^\alpha$, à droite $st(2st+1)(a^2/-A)$. L'équation (5) outre $t = 0$ a au plus une solution p-adique entière, donc au plus une solution rationnelle entière.

Si a est une puissance positive de 2, on pose

$$l = 1 + 2t, \qquad \frac{1}{-A} = \pm(1 + \gamma . 2^\alpha),$$

où $\alpha \geq 2$ et γ impair. Le même raisonnement est valable [il faut vérifier que le premier terme du second membre de (5) est bien de valuation inférieure au précédent].

Si $a = 1$, ce qui nécessite A pair, on utilise encore une méthode 2-adique, (4) s'écrit

$$\varepsilon = \sum_{j=0}^{j=+\infty} C_l^{2j+1}(-A^j). \tag{6}$$

Si A est multiple de 4, le terme de plus basse valuation est l, l'équation (6) a une solution au plus pour chaque ε.

Si A est $\equiv 2 \bmod 4$, après avoir remplacé l par $1 + 2t$, on voit que les trois premiers termes du second membre de (6) ont une somme $\equiv 1 \bmod 4$, $\varepsilon = +1$.

Les termes de plus basse valuation dans (6) sont alors du second degré en t et l'équation a au plus deux solutions.

En résumé, sauf dans le cas où $p = 2$, $A = 7$, *l'équation* (1) *a au plus deux solutions.*

(*) Séance du 3 octobre 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1263.

ALGÈBRE. — *Sur la localisation des valeurs caractéristiques de certaines matrices.* Note (*) de M. **Maurice Parodi**, présentée par M. Henri Villat.

Soient A et B deux matrices carrées d'ordres respectifs n et p, de valeurs caractéristiques λ_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$ et μ_j $(j = 1, 2, \ldots, p)$.
Formons la matrice d'ordre np :

$$M = A \dot{\times} I_p + I_n \dot{\times} B, \tag{1}$$

écriture dans laquelle le symbole $\dot{\times}$ représente un produit direct, I_n et I_p les matrices unités d'ordres n et p. On sait [1] que M a pour valeurs caractéristiques χ_{ij} les np nombres

$$\chi_{ij} = \lambda_i + \mu^j \qquad (i = 1, 2, \ldots, n; j = 1, 2, \ldots, p). \tag{2}$$

Cela posé, supposons qu'on veuille localiser les valeurs caractéristiques de A; on pourrait imaginer la méthode suivante : choisir une matrice B de valeurs caractéristiques connues, puis former la matrice M, définie par la formule (1). Les méthodes classiques permettent de localiser les valeurs caractéristiques χ_{ij} de M. Il résulte alors de (2), une localisation des valeurs caractéristiques de A, puisque celles de B sont connues.

Cette méthode ne conduit pas, en général, à une amélioration de la localisation des valeurs caractéristiques de A, obtenue par les méthodes habituelles.

Par contre, et un exemple le manifestera, la méthode utilisée en sens inverse, c'est-à-dire en déduisant une localisation des valeurs caractéristiques de M, de celle des valeurs caractéristiques de A, permet souvent de parvenir à une localisation améliorée des valeurs caractéristiques de M. Ce résultat peut être utile, car des matrices du type (1) se rencontrent dans l'étude des vibrations des structures périodiques à deux dimensions [2].

Envisageons, à titre d'exemple, la matrice M :

$$M = \begin{pmatrix} 11 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 13 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 4 & 3 & 15 & 0 & 0 & 1 \\ -4 & 0 & 0 & 7 & 1 & 1 \\ 0 & -4 & 0 & 3 & 9 & 2 \\ 0 & 0 & -4 & 4 & 3 & 11 \end{pmatrix},$$

La méthode des cercles de Gerchgorin montre que ses valeurs caractéristiques se situent dans le disque d'équation

$$|11 - z| \leq 11.$$

D'autre part, la matrice M peut se mettre sous la forme (1) avec

$$A = \begin{pmatrix} 7 & 1 & 1 \\ 3 & 9 & 2 \\ 4 & 3 & 11 \end{pmatrix}, \qquad B = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ -4 & 0 \end{pmatrix},$$

et la matrice B admet la valeur caractéristique double $\mu = 2$.

Comme

$$\lambda_i = \varkappa_{ij} - 2,$$

la méthode des cercles de Gerchgorin appliquée à A, permet de voir que les valeurs caractéristiques de M se situent dans l'intersection I des disques d'équation

$$|13 - z| \leqq 7, \qquad |9 - z| \leqq 7.$$

Comme $I \subset D$, il apparaît bien que par le procédé indiqué, on a pu améliorer la localisation des valeurs caractéristiques de M.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) MAC DUFFEE, *The Theory of Matrices*, Chalsea, Pub. Cy., New-York, p. 81.

(2) D. E. RUTHERFORD, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh*, 42, 1943-1949, p. 229.

CALCUL NUMÉRIQUE. — *Sommation des séries divergentes à termes positifs, de valeur complexe.* Note de M. **Pierre Vernotte**, présentée par M. Henri Villat.

Nous avons montré, dans une Note antérieure [1], qu'on pouvait calculer la somme $(\alpha + \beta i)$ d'une série divergente S à termes positifs, par la condition que la quantité réelle $-\beta^2 = (S - \alpha)^2$, mise sous forme de la somme de trois séries de formation, *cohérente :* S^2, $-2\alpha S$ et α^2, soit calculable sans difficulté par notre méthode fondée sur un critère de *régularité*; ce qui confirmait bien que la difficulté propre aux séries divergentes à termes positifs tenait à leur valeur complexe dissimulée sous leur *apparence* réelle. Il subsiste cependant une question non éclaircie : comment mettre la constante numérique α^2 sous la forme d'une série dont la nature soit adaptée à celle des séries S^2 et $-2\alpha S$, et pourquoi cette série est-elle convergente au sens ordinaire du mot, alors que les deux autres sont divergentes ? Notons, car c'est le fond même de la question, que si l'on ne donne pas à α sa valeur correcte, il est impossible d'obtenir que la somme des trois séries S^2, $-2\alpha S$ et α^2 ait la régularité exigée pour le calcul de $-\beta^2$.

Il est nécessaire, en pratique, de savoir trouver une valeur approchée de α. On considère à cet effet, la série $S^2 - 2\alpha' S$. Une valeur trop faible de $|\alpha'|$ donne une irrégularité, vite constatée par la procédure indiquée *loc. cit.* En augmentant $|\alpha'|$, peut-être la fait-on disparaître, ou bien on l'éloigne ou on la remplace par le défaut opposé. Ce qu'on peut affirmer, c'est que si, pour une certaine valeur de α', la régularité se trouvait réalisée, α' ne serait certainement pas alors égal à α. De toute façon, dès lors que l'irrégularité de $(S^2 - 2\alpha' S)$ n'est pas flagrante, α' n'est pas très éloigné de α, dont on a ainsi une valeur approchée. Avec la série des factorielles, on trouve que $-0{,}30$ doit être une valeur convenablement voisine de α (on sait par ailleurs que α vaut $-0{,}30282\ldots$).

Si nous ne savons pas construire la série de forme voulue dont la somme serait α^2, on peut, de la façon suivante, en calculer les trois premiers termes ε_1, ε_2, ε_3, dont l'influence est seule sensible. On pose inconnus ε_2 et ε_3, ε_1, valant $\alpha^2 - (\varepsilon_2 + \varepsilon_3)$, et l'on écrit les inégalités, d'abord linéarisées, qui expriment la régularité (*loc. cit.*). On les résout grossièrement par un graphique à deux dimensions, et l'on en déduit une linéarisation améliorée, qui donne de bonnes valeurs ε_1, ε_2, ε_3.

On peut se dispenser de chercher la série α^2, quand la valeur de α^2 est petite devant l'unité. Formons en effet, par la règle de multiplication des séries, les séries S^3, S^4, S^5, S^6. Comme on a

$$(S - \alpha)^6 = -\beta^6 = S^6 - 6\alpha S^5 + 15\alpha^2 S^4 - 20\alpha^3 S^3 + 15\alpha^4 S^2 - 6\alpha^5 S + \alpha^6,$$

et comme α^6 est négligeable, on peut calculer $-\beta^2$ par la racine cubique

de la série de formation cohérente, obtenue par la somme de six séries :

$$\Sigma = S^6 - 6\alpha S^5 + 15\alpha^2 S^4 - 20\alpha^3 S^3 + 15\alpha^4 S^2 - 6\alpha^5 S.$$

On cherche cette racine cubique sous la forme d'une série $(u_1 + u_2 + u_3 + u_4 \ldots)$ qu'on calcule, en identifiant aux termes numériques successifs de Σ, les quantités respectives

$$(u_1^3),\quad (3u_1^2 u_2),\quad (3u_1^2 u_3 + 3u_1^3 u_2),\quad (3u_1^2 u_4 + 6u_1 u_2 u_3 + u_2^3),$$
$$(3u_1^2 u_5 + 6u_1 u_2 u_4 + 3u_1 u_3^2 + 3u_2^2 u_3),\quad (3u_1^2 u_6 + 6u_1 u_2 u_5 + 6u_1 u_3 u_4 + 3u_2^2 u_4 + 3u_2 u_3^2),$$
$$(3u_1^2 u_7 + 6u_1 u_2 u_6 + 6u_1 u_3 u_5 + 3u_1 u_4^2 + 3u_2^2 u_5 + 6u_2 u_3 u_4 + u_3^3),\quad \ldots.$$

On n'est pas censé connaître encore exactement α; on fait donc porter le calcul sur une valeur approchée α' et l'on contrôle (par la méthode indiquée *loc. cit.*) si la régularité est réalisée.

Nous avons expérimenté la procédure avec la série des factorielles dont la somme a pour partie réelle, nous l'avons rappelé plus haut, — 0,30282.... Avec les deux valeurs α' essayées, — 0,30 et — 0,31, nous avons observé des irrégularités opposées extrêmement accusées, le nombre — 0,31 apparaissant nettement plus éloigné que l'autre. Quant à $-\beta^2$, on le calcule par sommation d'une série convergente.

C'est bien à $(S - \alpha)^2$ qu'il faut revenir parce que la puissance 6e a été une complication artificielle qui *oppose* une accélération de la croissance progressive des termes, au ralentissement utilisé dans le critère de régularité, opposition qui entraîne un trouble rendant extrêmement pénible la découverte de la régularité.

L'artifice de la puissance 6e dispense de toute opération mal définie et mystérieuse, et la procédure de sommation des séries divergentes à termes positifs en est rendue pratique.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1785.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Étude expérimentale des phénomènes parasites décelables dans un canal à houle. Résultats.* Note (*) de MM. **Pierre Gaillard** et **Clovis Marcou**, présentée par M. Henri Villat.

Nous donnons les résultats des essais effectués dans les conditions qui ont fait l'objet d'une Note précédente (1).

L'analyse des profils de la série (*a*) révèle que les amplitudes des divers harmoniques sont définies à 0,15 mm près, et que les phases le sont d'autant mieux que l'amplitude correspondante est plus élevée : α_2 est défini à 0°,5 près, α_3 α_4 à 5° près, α_4 α_6 à 30° près, les suivants, à 50° près environ.

Les résultats des séries (*b*) et (*c*) figurent au tableau ci-dessous. On constate que les valeurs de l'amplitude des harmoniques et des écarts ε_{pi} présentent une dispersion comparable à celle observée dans la série (*a*), ce qui rend la vérification de nos hypothèses difficile.

Série (*b*).

	ε_{i1}.		ε_{i3}.		ε_{i5}.	
	−0,176	−0,119	0,008	−0,034	−0,076	0,132
	0,060	−0,156	0,002	+0,032	−0,046	−0,097
	0,103	−0,182	−0,007	+0,025	+0,024	−0,095
	0,044	−0,219	0,000	0,037	+0,032	−0,114
δx_i (m)........	0,58	1,43	0,58	1,43	0,58	1,43
λ_{pr} (cm)........	178,5		50,09		18,03	
λ_{pm} (cm).......	151,5		50,32		17,93	
σ_{pr}............	0,144		0,023		0,086	
σ_{pm}............	0,094		0,021		0,079	

Série (*c*).

	ε_{i1}.		ε_{i3}.		ε_{i5}.	
	0,034	−0,238	0,004	0,044	−0,109	+0,128
	0,041	−0,219	0,000	0,037	0,032	−0,114
	0,116	−0,226	0,013	−0,040	0,043	−0,176
	0,049	−0,242	−0,012	+0,036	0,156	−0,018
	0,112	−0,217	−0,022	+0,045	0,085	0,239
δx_i (m)........	0,58	1,43	0,58	1,43	0,58	1,43
λ_{pr} (cm)........	178,5		50,09		18,03	
λ_{pm} (cm).......	146,2		50,45		18,08	
σ_{pr}............	0,171		0,030		0,128	
σ_{pm}............	0,108		0,026		0,126	

Les valeurs théoriques de la longueur d'onde sont vérifiées respectivement dans les cas (*b*) et (*c*) à 5 et 7 °/₀₀ près par excès pour l'harmonique 2 T/3, à 6 °/₀₀ près par défaut et 3 °/₀₀ près par excès pour 2 T/5.

Ces écarts ne sont d'ailleurs pas très significatifs puisque σ_{pr} et σ_{pm} sont très voisins l'un de l'autre. Pour l'harmonique 2 T l'écart par défaut de 15 et 18 % respectivement correspond à une différence assez nette entre σ_{pr} et σ_{pm} : cet écart est trop important pour devoir être entièrement attribué aux incertitudes de mesure.

En conclusion, la concordance entre les résultats expérimentaux et les hypothèses théoriques faites semble bonne pour les harmoniques 2 T/3 et 2 T/5. Toutefois l'imprécision inhérente aux moyens de mesure mis en œuvre est telle qu'elle peut vraisemblablement masquer l'effet de la présence éventuelle d'ondes réfléchies ou d'ondes non linéaires d'amplitude notable. En effet, si en appliquant une des théories non linéaires de la houle complexe plane [*cf.* (2), (3), (4), (5)] on considère en particulier les ondes d'interaction entre le fondamental T de la houle et l'harmonique 2 T/3 du phénomène parasite, on leur trouve respectivement pour période, longueur d'onde et amplitude, avec les valeurs numériques obtenues sur nos enregistrements :

$$6A_2 = 108 \text{ mm}; \quad 6A_3 = 1,8 \text{ mm} \quad (\text{série } b);$$

$$T' = 2T, \quad \lambda' = 93,3 \text{ cm}; \quad 6A' = 0,505 \text{ mm};$$

$$T'' = \frac{2T}{5}; \quad \lambda'' = 34,3 \text{ cm}; \quad 6A'' = 0,27 \text{ mm}.$$

Ces résultats nous montrent la nécessité de tenir compte des ondes réfléchies et des ondes non linéaires théoriquement prévisibles, à l'aide, par exemple, des méthodes préconisées par L. Santon [*cf.* (6)], A. Daubert et G. Chabert d'Hières [*cf.* (7)]. Ils montrent également l'intérêt qu'il y aura à améliorer la précision des mesures.

(1) P. GAILLARD et C. MARCOU, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1341.

(2) F. BIESEL, *La Houille blanche*, 3, 1952, p. 372-376.

(3) A. DAUBERT, *Thèse de* 3e *cycle* à paraître dans les *Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air.*

(4) A. DAUBERT, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1878 et 2006 et 246, 1958, p. 888.

(5) J. KRAVTCHENKO, *Actes du IXe Congrès international de Mécanique appliquée*, I, 1957, p. 149.

(6) L. SANTON, *Proceed of the Vth Conf. on Coastal Eng.*, Grenoble, 1954, p. 189-207.

(7) C. MARCOU, *Comptes rendus A. I. R. H.*, Lisbonne, II, 1957, D. 1, p. 1 à 15.

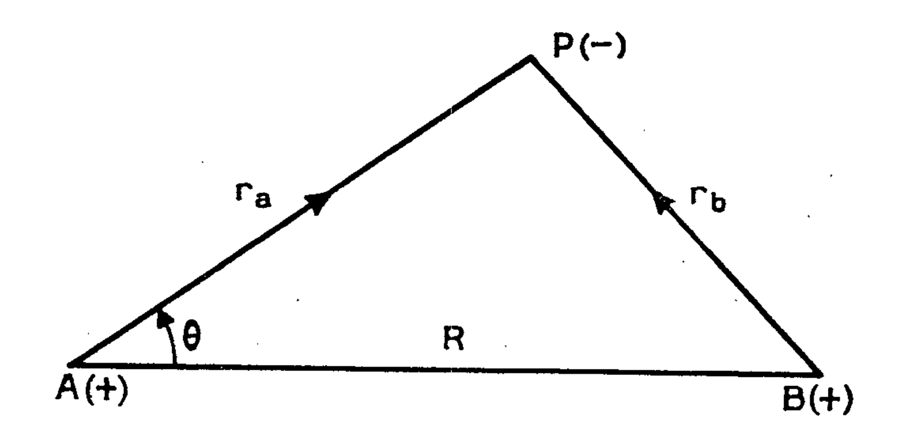
PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Calcul de l'état fondamental du deutéron à symétrie sphérique.* Note (*) de M. **Claude Deutsch**, présentée par M. Louis de Broglie.

On établit une théorie phénoménologique du deutéron basée uniquement sur l'échange d'un méson Π^- entre le proton et le neutron. On calcule l'état fondamental à symétrie sphérique à l'approximation non relativiste. On trouve, en négligeant les forces tensorielles, — 2,17 ± 0,108 MeV. On trouve une distribution exponentielle de charge confirmée par diffraction électronique, en ajustant le facteur de structure avec $k = 8,25$. On détermine un potentiel neutron-proton en « cœur dur » répulsif aux très courtes distances.

Jusqu'à présent, la théorie des forces nucléaires a toujours été tentée dans le cadre d'une théorie des champs.

On se propose de faire un calcul du deutéron basé uniquement sur l'argument phénoménologique suivant : le neutron se stabilise en échangeant un méson Π^- avec le proton.

Nous allons essayer de montrer que la formation du deutéron par une liaison lâche de — 2,227 MeV peut être expliquée par la structure électro-



magnétique des nucléons. On calcule l'état fondamental à symétrie sphérique en supposant des charges ponctuelles pour les nucléons nus et le méson Π^-.

On utilise le fait que la loi de Coulomb reste valable à 10^{-13} cm ([1]). On ne tient pas compte des forces tensorielles, on fait un calcul non relativiste, indépendant de la structure du méson Π^-.

Avec toutes ces simplifications, le calcul se développe ainsi :

Le problème est celui de trois charges en équilibre ([2]), le méson Π^- étant également partagé par les deux nucléons. L'équation de Schrödinger du méson est

$$(\mathrm{I}) \qquad -\frac{h^2}{8,7^2 m_{\Pi}}\nabla^2\psi - V\psi = E\psi,$$

avec

$$(\mathrm{II}) \qquad V = -\frac{e^2}{r_a} - \frac{e^2}{r_b} + \frac{e^2}{R}.$$

On introduit les coordonnées elliptiques

$$R\xi = r_a + r_b, \qquad R\eta = r_a - r_b.$$

On sépare les variables, en posant

$$\psi = X(\xi)\, Y(\eta)\, S(\varphi).$$

On a trois équations pour X, Y, S qu'on simplifie en prenant $\lambda = 0$ pour l'état à symétrie sphérique.

On a

$$\text{(III)} \qquad \frac{d^2 S}{d\varphi^2} = 0,$$

$$\text{(IV)} \qquad \frac{d}{d\xi}\left[(\xi^2 - 1)\frac{dX}{d\eta}\right] + \left[\frac{2R}{a_0}\left(\frac{E_1}{4}\xi^2 + \xi\right) + \mu\right] X = 0,$$

$$\text{(V)} \qquad \frac{d}{d\eta}\left[(1 - \eta^2)\frac{dY}{d\eta}\right] - \left[\frac{R}{2a_0}\eta^2 + \mu\right] Y = 0,$$

μ étant une constante de séparation et

$$E_1 = R\left(\frac{E}{c^2} - \frac{1}{R}\right);$$

(IV) et (V) après intégration numérique, donnent pour l'état d'équilibre [2]

$$\frac{R}{a_0} = 2 \qquad \text{et} \qquad E = -1{,}204\,\frac{e^2}{a_0}.$$

Avec

$$e = 4{,}80 \,.\, 10^{-10}\ u.e.s.\ \text{C.G.S.},$$

$$R = 2 \text{ rayons électriques du proton : } \ 2(0{,}80 \pm 0{,}04)\,.\,10^{-13}\ \text{cm}$$

$$1\ \text{MeV} = 1{,}6\,.\,10^{-6}\ \text{C.G.S.},$$

$$E = -2{,}17 \pm 0{,}108\ \text{MeV},$$

qui comprend la valeur expérimentale de $-2{,}227$ MeV.

On confronte la solution de (I) donnant la distribution du méson Π^- dans le deutéron avec le facteur de structure fourni par diffraction électronique. Pour le premier niveau à symétrie sphérique, on a

$$\psi_{1,0,0} = c_0\, e^{-\frac{x}{2}\frac{1+t}{1-t}}, \qquad \text{avec} \quad |t| < 1.$$

Dhar et Intyre ont mesuré [3]

$$F\psi_{1,0,0} = \frac{4\Pi}{q}\int_0^{\infty} \rho(r)\sin(qr)\, r\, dr,$$

q, moment transféré de l'électron aù deutéron;
$\rho(r) : \psi_{1,0,0}$ distribution de charge du deutéron.

Expérimentalement on obtient [3]

$$F\psi_{1,0,0} = \left(1 + \frac{x^2}{k}\right)^{-2},$$

avec

$$x = qR = 2q(0{,}80 \pm 0{,}04)\,.\,10^{-13}\ \text{cm} \quad [4].$$

La courbe expérimentale s'ajuste parfaitement pour $k = 8{,}25$.

Pour l'état triplet et l'état singulet, on a respectivement les deux fonctions suivantes, en appelant $\chi_P(s)$ et $\chi_N(s)$ les fonctions de spin

$$\psi_S = \frac{1}{\sqrt{2+2\Delta}}(\psi_N + \psi_P)[\chi_P(s) - \chi_N(s)]; \qquad \psi_A = \frac{1}{\sqrt{2-2\Delta}}(\psi_N - \psi_P)[\chi_P(s) + \chi_N(s)],$$

avec

$$D = \frac{r_{AB}}{a_0} \qquad \text{et} \qquad \Delta = e^{-D}\left[1 + D + \frac{D^2}{3}\right].$$

A ψ_S et ψ_A correspondent les énergies potentielles (5)

$$W_S = W_H + \frac{e^2}{a_0 D} + \frac{J+K}{1+\Delta}; \qquad W_A = W_H + \frac{e^2}{a_0 D} + \frac{J-K}{1-\Delta},$$

avec W_H, énergie d'un nucléon libre et

$$K = \frac{-e^2}{a_0} e^{-D}(1 + D),$$

$$J = \frac{e^2}{a_0}\left[\frac{-1}{D} + e^{-D}\left(1 + \frac{1}{D}\right)\right].$$

Le potentiel neutron-proton est donné par un mélange de W_S et W_A fixé par le moment magnétique anormal du deutéron.

Le potentiel est en « cœur dur » et répulsif aux très courtes distances.

(*) Séance du 8 août 1960.

(1) D. I. Blokhintsev, V. S. Barashenkov et B. M. Barbashov, *Soviet. Phys. Uzp.*, 2 (68), nº 4, 1959.

(2) E. A. Hylleraas, *Z. Physik*, 71, 1931, p. 739.

(3) S. A. Mc Intyre et S. Dhar, *Phys. Rev.*, 106, 1957, p. 1074.

(4) R. Hofstadter, *Rev. Mod. Phys.*, 28, 1956, p. 214.

(5) L. Pauling et E. B. Wilson, *Introduction to Quantum Mechanics*, Mc Graw-Hill, New-York, 1935.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur l'interprétation de la mécanique quantique. Relations d'incertitude.* Note (*) de M. **Assène Datzeff**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous avons montré dans des publications précédentes ([1]), ([2]), et dans les *Comptes rendus*, qu'en admettant un support matériel de champ (subvac) constitué des corpuscules AS possédant des fluctuations, le mouvement d'un microcorpuscule μ en interaction avec ce champ aura un caractère statistique. La densité de probabilité de présence w de μ se ramène à une fonction f, avec $w = |f|^2$, et l'on a trouvé pour f une équation, que nous appellerons équation de probabilité (identique à l'équation de Schrödinger). A l'aide des considérations de cette nature nous sommes arrivés au formalisme mathématique de la Mécanique quantique non relativiste. Nous allons maintenant montrer que ce point de vue impose de donner aux relations d'incertitude bien connues (relations d'Heisenberg) un sens différent de celui de l'interprétation orthodoxe.

On trouve ces relations en représentant le mouvement d'un corpuscule à l'aide d'un paquet d'onde. Les conditions qui limitent les dimensions du paquet sont

$$\Delta x_i \, \Delta p_{x_i} \geqq h \quad (i = 1, 2, 3) \qquad \Delta \mathrm{E} \, \Delta t \geqq h. \tag{1}$$

D'un autre côté en cherchant à l'aide de la fonction d'onde Ψ les écarts quadratiques moyens de x_i, p_{x_i} on trouve

$$\sqrt{\overline{\Delta x_i^2}} \sqrt{\overline{\Delta p_{x_i}^2}} \geqq h. \tag{2}$$

On donne aux relations (1) l'interprétation suivante : pendant chaque expérience sur un microcorpuscule μ l'observation introduit un trouble incontrôlable sur le phénomène étudié. Alors le produit des erreurs inévitables Δx_i sur la coordonnée et Δp_{x_i} sur l'impulsion est de l'ordre de h, c'est-à-dire x_i et p_{x_i} ne peuvent pas être mesurées simultanément avec une précision arbitraire. La base physique de cette interprétation repose sur les quelques expériences mentales bien connues : avec le microscope d'Heisenberg, diffraction des électrons par un orifice, etc. Nous rappellerons ce deuxième cas comme plus approprié pour les considérations qui vont suivre.

Soit un électron en mouvement uniforme suivant OZ. Le plan OXY forme un écran percé d'un orifice rectangulaire de centre O et des côtés $2a$, $2b$, parallèles à OX, OY respectivement. L'onde Ψ attachée à l'électron se diffracte dans l'espace $z > 0$ où l'on trouve des directions successives des maximums et des minimums. Les directions (α, β, γ) $(\gamma \sim 1)$ par rapport à OZ du rayon diffracté dépendent de deux paramètres entiers m, n. On trouve des valeurs notables pour $|\Psi|$ pour des valeurs peu élevées

de m, n, à cause de quoi on considère des valeurs $m, n \sim 1$, auxquelles correspondent des variations Δp_x, Δp_y de l'impulsion. Le calcul donne facilement $2a\,\Delta p_x \sim h$. On attribue à $2a$ le sens d'une erreur ou incertitude inévitable Δx sur x et à Δp_x le sens d'incertitude inévitable minimale sur p_x. On arrive ainsi aux deux premières relations (1).

Mais cette interprétation n'est pas convaincante. En effet, la fonction d'onde Ψ a des valeurs différentes de zéro quoique petites pour chaque direction du rayon et le corpuscule peut en principe se trouver partout derrière l'écran. A cause de cela on peut dire uniquement que les relations (1) ($i = 1, 2$) déterminent un domaine par rapport aux variables x_i, p_x où la probabilité de présence a des valeurs prédominantes. L'expérience correspondante peut être effectuée à l'aide d'un flux d'électrons en mouvement uniforme, et l'on vérifiera certainement que la plupart des électrons qui traversent l'écran se trouveront dans le domaine déterminé par les relations (1) ($i = 1, 2$). Mais cela indique que les relations (1) n'ont qu'un sens statistique. La même conclusion suit évidemment de l'autre représentation (2) de ces relations.

L'analyse minutieuse de toutes les expériences mentales mène au même résultat, à savoir que les relations d'incertitude n'ont qu'un sens probabiliste. Il s'ensuit qu'on ne peut pas en tirer des conclusions sur la conduite d'un corpuscule individuel, et que Δx, Δp_x, etc., sont des erreurs sur un électron individuel. De même, il ne s'ensuit pas que l'électron n'a pas de position et de vitesse simultanées. D'un autre côté, la supposition que l'électron possède simultanément une position et une vitesse (mais qu'on ne peut pas mesurer simultanément avec une précision arbitraire par la technique de mesure actuelle) est évidemment en contradiction avec l'interprétation orthodoxe de la Mécanique quantique.

En se basant sur les idées développées dans les publications [1], [2], nous pensons qu'on doit mettre dans la question étudiée le sens suivant :

Le microcorpuscule μ possède à chaque instant une position et une vitesse déterminées (et peut-être encore d'autres « paramètres cachés » non obligatoirement de nature mécanique). Mais nos expériences actuelles sont toujours macroscopiques. A l'aide de telles expériences on étudie ou bien le comportement d'un ensemble de corpuscules identiques en état de mouvement semblable, ou celui d'un corpuscule lié pendant un temps assez grand par rapport à une certaine période propre au corpuscule, de façon que dans tous les cas l'expérience actuelle sur des microcorpuscules ne donne que des résultats statistiques. Alors les relations d'incertitude expriment une loi statistique objective, à savoir une relation entre les dispersions de chaque couple de variables canoniques q, p. En effet, une relation de cette nature et plus exactement de la forme de (2) suit de l'équation de probabilité que nous avons trouvée à l'aide des hypothèses émises dans [1], [2].

Soient $l(x, \ldots, p_x, \ldots)$, $m(x, \ldots, p_x, \ldots)$ deux grandeurs physiques liées au microcorpuscule μ, fonctions des coordonnées et de l'impulsion. Comme nous avons vu en (²), il leur correspondent des opérateurs bien déterminés $L(x, \ldots, p_x, \ldots)$, $M(x, \ldots, p_x, \ldots)$. En général, ils ne sont pas commutables et il existe entre eux une relation de la forme suivante :

$$LM - ML = ih N. \tag{3}$$

Il s'ensuit de ce qui a été dit plus haut, que cette relation n'est qu'une autre expression du fait de l'existence d'une certaine relation entre les dispersions des grandeurs l, m. [Au langage de la Mécanique quantique la relation (3) montre que les grandeurs l et m ne sont pas mesurables simultanément.]

Mais on peut tout de suite poser la question : Si ce n'est pas l'observateur qui est le principal responsable de l'existence des relations (1), pourquoi alors les calculs basés sur les expériences mentales qui visent à apprécier la perturbation causée par une certaine observation sur le phénomène étudié, amènent exactement aux relations d'incertitude ? La réponse est la suivante : Dans toutes ces expériences, quoiqu'on parle improprement des erreurs Δx_i, Δp_{x_i} se rapportant à un corpuscule individuel, en vérité on apprécie toujours des domaines liés à des paires de variables canoniques q_i, p_i, où la probabilité de présence a des valeurs prédominantes. Il est clair alors que les appréciations ainsi trouvées seront incluses dans les relations de corrélation supposées plus haut entre les dispersions de q et de p.

(*) Séance du 19 septembre 1960.
(¹) *J. Phys. Rad.*, 20, 1959, p. 949-955.
(²) *J. Phys. Rad.*, 21, 1960, p. 201-211.

PHYSIQUE GÉNÉRALE. — *Sur l'hypothèse de calculabilité.*
Note de M. **Paul Renaud**, présentée par M. Louis de Broglie.

On peut démontrer le principe de symétrie à la condition de choisir parmi les systèmes expérimentaux ceux dont on sait calculer le devenir. C'est l'hypothèse de calculabilité.

On réalise la représentation quantitative des systèmes expérimentaux S_E en assemblant des éléments de représentation, constitués eux-mêmes par des systèmes physiques S_p abstraits qui sont tangents ([1]), ([2]) aux S_E.

Chacun de ces systèmes abstraits S_p est défini de manière à correspondre à un phénomène particulier P. Ce dernier est isolé en suivant un certain nombre de règles qui lui imposent la plus haute symétrie possible. Ces règles se répercutent sur la définition même de S_p.

Les systèmes S_p, parce qu'ils sont abstraits, possèdent un nombre n fini de paramètres $a_1, \ldots, a_n$ et peuvent présenter des symétries totales ou locales.

Quelques-uns seulement possèdent la propriété d'être le système le plus simple compatible avec l'existence d'un phénomène P bien défini. Ils jouent un rôle essentiel comme éléments dans nos représentations. Nous les désignerons par S_{PR}.

Les paramètres $b_1, \ldots, b_p$ qui définissent le phénomène P d'une part et ceux $a_1, \ldots, a_n$ qui définissent le système S_{PR} qui en est le siège, sont liés entre eux par une double relation. Le système S_{PR} contient les données (ou causes) qui définissent le phénomène P envisagé comme un effet de ces données.

Les relations de symétrie entre les causes et les effets définies par le principe de symétrie (PS) de Pasteur-Curie et les relations de symétrie généralisée définies par le principe de symétrie généralisé (PSG) sont applicables quand on passe de S_{PR} à P.

Quand on remonte de P à S_{PR}, qui est défini lui-même par les données de P, ces relations de causes à effets sont aussi applicables à condition de considérer que P est l'une des données qui contribue à définir S_{PR}, les autres étant imposées par la nécessité pour S_{PR} de représenter un système expérimental S_E.

Les relations entre l'ensemble des phénomènes P et l'ensemble des systèmes S_{PR} qui en sont le siège définissent une des plus importantes fonction complexe de la physique. Elle est définie avec précision dès que P et S_{PR} le sont aussi.

Pour que la physique soit quantitative, les systèmes S_p abstraits doivent être édifiés de telle sorte qu'on puisse calculer leur évolution à partir des données $a_1, \ldots, a_n$ qui les précisent. L'ensemble des S_P, des S_{PR}, des P,

et de leurs associations constitue un très vaste ensemble de représentation. Il forme l'essentiel de la partie collective de la science physique. Elle se transmet d'un esprit à un autre avec précision. Ses propriétés de calcul en font une physique rationnelle. C'est la base de l'enseignement et des problèmes.

C'est parce qu'il pensait à elle exclusivement que Curie a pu énoncer les rapports de symétrie entre des ensembles de causes et des ensembles d'effets. Seuls les ensembles abstraits du type S_p ou S_{PR} ou P possèdent une symétrie définie.

Parallèlement à cet ensemble abstrait (S_p) existe l'ensemble (S_E) des systèmes matériels S_E dont les propriétés essentielles sont constituées par des conglomérats de dissymétries auxquelles nous nous référons pour choisir chaque S_p à associer à S_E et pour définir ses paramètres. Les méthodes modernes permettent de détecter d'innombrables phénomènes P sur un seul système expérimental S_E, même très simple.

A chacun d'eux on s'efforce d'associer un S_p qui le représente. Ainsi, un S_E serait complètement représenté par un très grand nombre de S_P différents. Aussi, on limite toujours le nombre I des phénomènes $P_1, P_2, \ldots, P_I$ qu'on étudie dans un système S_E donné.

Les propriétés de calcul, comme les symétries, les identités, etc. qui sont valables pour les représentations S_P ont été souvent attribuées aux systèmes expérimentaux S_E. Cette confusion fréquente a paralysé de nombreuses recherches parce que la correspondance entre les ensembles (S_p) et (S_E) est encore mal connue. Les fautes de raisonnements s'y introduisent facilement.

Si, au contraire, on distingue l'ensemble (S_p) de l'ensemble (S_E), il apparaît que, pour représenter S_E au moyen de S_p, il faut d'abord amener S_E à posséder les propriétés générales de (S_p). Or, tous les calculs respectent les principes d'identité (PI) et de symétrie (PS).

Pour qu'on puisse représenter S_E par un S_p, il faudra qu'il satisfasse (PI) et (PS).

Ces principes constituent des tests. Ils signalent que certains systèmes expérimentaux S_E sont encore trop mal connus pour être représentables. Il leur manque des données. Dès lors, aucun système expérimental S_E représentable et calculable ne peut être opposé aux principes (PI) ou (PS). Seuls, certains systèmes expérimentaux S'_E dont les données ne déterminent pas le devenir peuvent sembler contredire (PI) ou (PS).

Lorsque l'hypothèse de calculabilité est satisfaite pour S_E, celui-ci satisfait également (PI), (PS).

La longue polémique au cours de laquelle Pasteur s'est opposé successivement à Dessaignes, Berkin et Duppa, Jungfleich, Wyrouboff, etc. et où les énoncés de Curie ont été mis en doute ou négligés par Eugène Darmois, Birkhoff, Duclaux, Bauer, Saucier, etc., démontre l'importance de l'hypothèse de calculabilité. Celle-ci classe les expériences en deux groupes :

celles dont l'expérimentateur s'est rendu maître et celles dont les résultats n'obéissent pas à leurs données d'une manière constante. Ces dernières ne peuvent pas être calculées, elles ne satisfont pas forcément à (PI) ou à (PS). Seules les expériences dont on a su isoler les données obéissent certainement à (PI) et à (PS).

Pour exprimer ces faits dans l'énoncé de ces principes, nous proposons l'énoncé suivant :

Si deux systèmes calculables S_1 *et* S_2 *constituant des ensembles de causes isolés semblent se déduire l'un de l'autre à un instant initial par une transformation* T *de l'espace-temps et si, au bout d'un temps t, ils ne se déduisent plus l'un de l'autre à travers* T, *c'est qu'une des causes de leurs évolutions a été oubliée dans la description de* S_1 *et* S_2 *et ne se conserve pas dans* T.

Cet énoncé est valable pour (PI) (identité); (PS) symétrie; (PH) similitude; (PSG) symétrie généralisée, (PR) représentation, suivant que T représente une translation, une symétrie, une similitude, une transformation quelconque d'espace, ou d'espace-temps.

L'expérience historique montre que le principe de symétrie, qui est un des plus simples, est déjà difficile à appliquer. *A fortiori*, le principe de représentation qui utilise des transformations T de l'espace-temps, souvent très complexes, et dont l'usage est journalier, mérite d'être soigneusement étudié.

Conclusion. — Les principaux résultats déjà acquis dans ces études difficiles sont dus, en grande partie, aux travaux expérimentaux de Pasteur et aux travaux de Curie. Ils ont introduit, à une époque récente, un principe relativement nouveau, le principe de symétrie (PS), assez voisin du principe d'identité (PI) pour que son mécanisme soit le même et assez différent de lui pour qu'il soit encore contesté 60 ans après sa publication. Il nous permet d'apprécier la difficulté de ces études et d'en préciser les écueils. Il a préparé les voies à l'hypothèse de calculabilité par les polémiques qu'il a soulevées. Celle-ci remplace avantageusement l'ancien déterminisme expérimental, indispensable au Laboratoire. Celui-ci, avec ses prémices inaccessibles ne fournit pas de renseignements précis, mais seulement un encouragement au travail.

Au contraire, l'hypothèse de calculabilité H, permet de comparer avec précision les divers systèmes S_E, S_p et S_{PR} et de les classer.

On peut alors démontrer que les principes (PI), (PS), (PSG), (PR), sont des guides sûrs au cours du développement en série des causes, des effets et de leurs représentations et qu'il n'est pas possible de concevoir aucune expérience capable de les mettre en échec.

(1) DERVICHIAN, JOLY et RENAUD, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2213.

(2) RENAUD, *Comptes rendus du Congrès des Sociétés Savantes*, 1958, p. 73; 1959 et 1960.

(3) RENAUD, *Revue générale des Sciences*, 62, 1955, p. 328.

CALORIMÉTRIE. — *Procédé de refroidissement des échantillons dans la calorimétrie à très basse température.* Note (*) de MM. **Jean Aslanian** et **Louis Weil**, transmise par M. Louis Néel.

On décrit un procédé de mise en température par contact mécanique à commande pneumatique. Ce dispositif réduit les pertes et les réchauffements parasites.

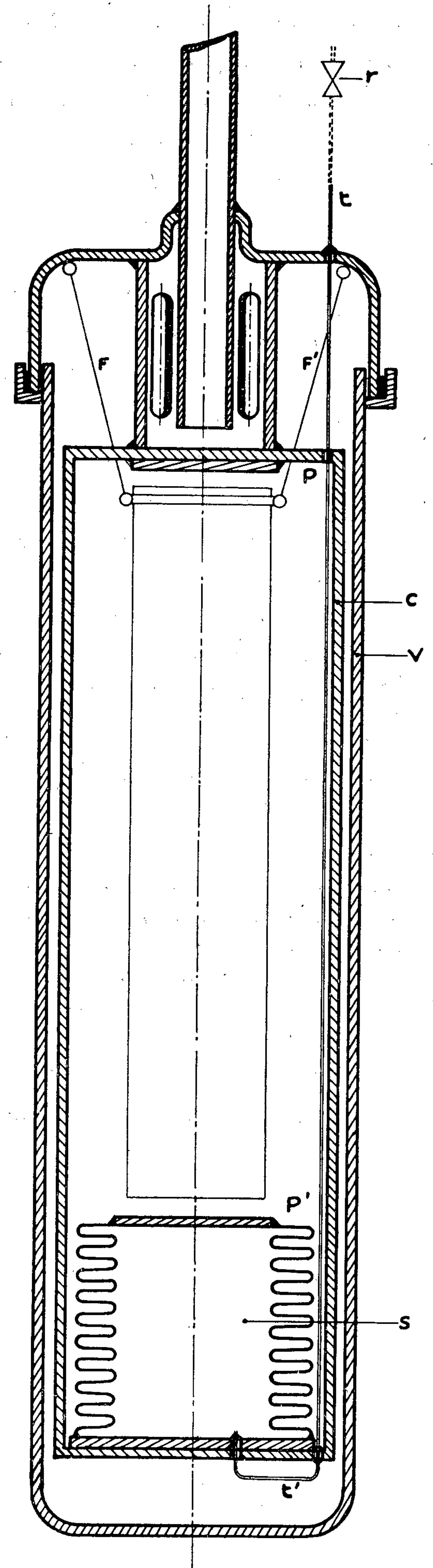
Dans la calorimétrie à très basse température, un problème délicat est celui du refroidissement de l'échantillon qui, pour la mesure, est maintenu isolé thermiquement à l'intérieur d'un vase tel que V (*figure*), lui-même plongé par exemple dans un bain d'hélium liquide. Ce refroidissement peut être réalisé soit en introduisant temporairement à l'intérieur de V un gaz d'échange (hélium, par exemple), soit en réalisant par un *procédé mécanique* un contact thermique entre l'échantillon E et la paroi.

La méthode du gaz d'échange a été pendant longtemps communément utilisée et elle donne d'excellents résultats pour les métaux et alliages ([1]). Elle a toutefois l'inconvénient de demander après la mise en température un pompage qui dure un temps considérable; la canalisation de vide, pour éviter l'entrée de chaleur par rayonnement, a forcément un diamètre réduit. Par ailleurs, une adsorption du gaz d'échange se produit sur l'échantillon et surtout lorsque celui-ci a une grande étendue (produit en poudre ou fritté) cette quantité adsorbée peut devenir considérable et créer une perturbation mal connue. Lorsqu'on descend à des températures très basses, où la chaleur spécifique du solide elle-même diminue beaucoup, la capacité calorifique du fluide adsorbé variant peu en fonction de la température devient une correction importante.

Le contact *mécanique* demande, pour être efficace, comme l'ont montré les travaux de Berman ([2]) sur l'effet de la force de contact sur la conductance, une force de pression importante. On transmet quelquefois l'effort directement de l'extérieur, mais il est préférable de l'amplifier à basse température. Le plus usuel des procédés mécaniques consiste à serrer l'échantillon dans une pince, elle-même maintenue à la température du vase V, et commandée par une traction verticale ([3]). Malgré l'amplification, grâce à la pince, la taille du fil de commande reste relativement importante; il amène donc une quantité de chaleur non négligeable. Par ailleurs, la pince elle-même, nécessairement massive, met un temps assez long avant d'être portée à la température de V.

Enfin, si l'on veut qu'au moment où l'on rompt le contact, il ne s'amorce pas dans l'échantillon des vibrations génératrices d'un dégagement de chaleur, il est indispensable que le contact soit rompu très progressivement et les frottements solides dans la transmission sont alors nuisibles.

Dans le procédé que nous utilisons et que nous décrivons ci-dessous, nous avons eu recours à une *commande hydraulique du contact*; la force est exercée par l'intermédiaire du soufflet métallique en tombac S, soufflet qui est gonflé simplement avec de l'hélium. Le remplissage a lieu par



l'intermédiaire du capillaire *tt'*; les forces qu'on peut exercer sont du même ordre de grandeur qu'avec les pinces, par exemple avec le tombac que nous avons employé, ayant un diamètre intérieur de 25 mm et supportant une pression de 4 atm, la force est de 20 kg. Sous l'effet de la pression, le tombac s'allonge et vient bloquer l'échantillon E, suspendu par les fils de nylon F et F' contre la plaque P à la partie supérieure du cadre C. Dans le cas de la figure, C est à la température de V. La commande de la descente du tombac se fait par l'intermédiaire d'une vanne à réglage fin et le déplacement de quelques millimètres rompant le contact peut être rendu aussi lent et progressif qu'on veut.

Sans prendre de précautions spéciales au sujet de la nature des surfaces en contact tant en P et P' que sur l'échantillon, nous avons ainsi pu, d'ores et déjà, établir des ruptures avec un dégagement de chaleur qui n'était que de 100 à 200 ergs, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur des valeurs obtenues avec les surfaces de contact les plus favorables dans les procédés mécaniques utilisés jusqu'à présent (quelques centaines d'ergs). Le capillaire descendant dans l'hélium liquide, toutes les perturbations thermiques sont éliminées. Enfin, la réalisation est plus simple que celle des dispositifs mécaniques suggérés jusqu'ici.

Nous avons particulièrement apprécié cette méthode de mise en température dans un travail que nous effectuons sur l'oxyde de béryllium fritté qui, étant isolant et ayant une température de Debye particulièrement élevée, a une chaleur spécifique très faible : un échantillon de 65 g n'a, à 2° K, qu'une capacité calorifique de 4.10^{-5} J/°.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) B. B. GOODMAN, J. HILLAIRET, J. J. VEYSSIÉ et L. WEIL, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 542; B. B. GOODMAN, J. HILLAIRET, J. J. VEYSSIÉ et L. WEIL, *7th Intern. Conf. on Low Temp. Phys.*, Toronto, 29 août-3 septembre 1960, 22.1.

(2) R. BERMAN, *J. Appl. Phys.*, 27, 1956, p. 318.

(3) J. H. BURNS, D. W. OSBORNE et E. F. WESTRUM Jr., *J. Chem. Phys.*, 33, 1960, p. 387; E. F. WESTRUM, J. B. HATCHER et D. W. OSBORNE, *J. Chem. Phys.*, 21, 1953, p. 419; F. J. WEBB et J. WILKS, *Proc. Roy. Soc.*, A 230, 1955, p. 549.

(*Laboratoire de Basses Températures, Université de Grenoble.*)

MAGNÉTISME. — *Quelques résultats expérimentaux sur le traînage de diffusion dans les ferrites de nickel-cobalt.* Note (*) de M. **Pierre Vigier**, transmise par M. Louis Néel.

Nous nous sommes proposé d'étudier le traînage magnétique dans des échantillons de ferrite de nickel-cobalt à diverses températures, lorsque le matériau est soumis à un champ pendant un temps assez court, de l'ordre de la milliseconde.

L'échantillon est désaimanté dans un champ alternatif, décroissant lentement jusqu'à zéro, à une époque que nous prendrons comme origine des temps.

Au temps t_0, qui sera constant et égal à 5 mn, nous appliquons un champ H, pendant une durée τ variable, de 0,1 à 10 ms.

Un enroulement secondaire est branché aux bornes d'un galvanomètre balistique avant l'application du champ.

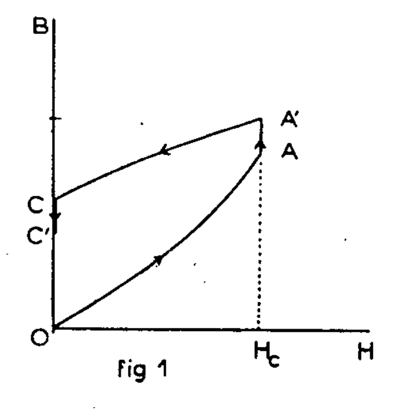


Fig 1

Supposons d'abord que les temps d'établissement et de coupure du champ H soient négligeables devant sa durée d'application et que, de plus, il n'y ait ni traînage, ni courants induits (les ferrites ont une très grande résistivité); l'induction prend alors la valeur B_m pour $t_0 < t < t_0 + \tau$, et la valeur B_r pour $t > t_0 + \tau$.

Lorsque τ est petit vis-à-vis de la période T du galvanomètre, la déviation maximale de ce dernier est proportionnelle à B_r avec une erreur relative par excès ε donnée par

$$\varepsilon = \frac{k\omega^2\tau^2}{2(k-1)^2},$$

en posant

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{et} \quad k = \frac{B_m}{B_m - B_r}.$$

En fait, l'induction continue à croître d'une quantité AA′ pendant la durée τ d'application du champ H, et varie également d'une quantité CC′ après retour du champ à zéro (*fig.* 1).

La déviation δ du galvanomètre est proportionnelle à OC′, où C′ est l'induction atteinte à l'époque τ' après retour du champ à zéro et où τ' est de l'ordre de T/4.

Nous avons mesuré δ, à température constante et à champ constant (le champ coercitif), en fonction de τ.

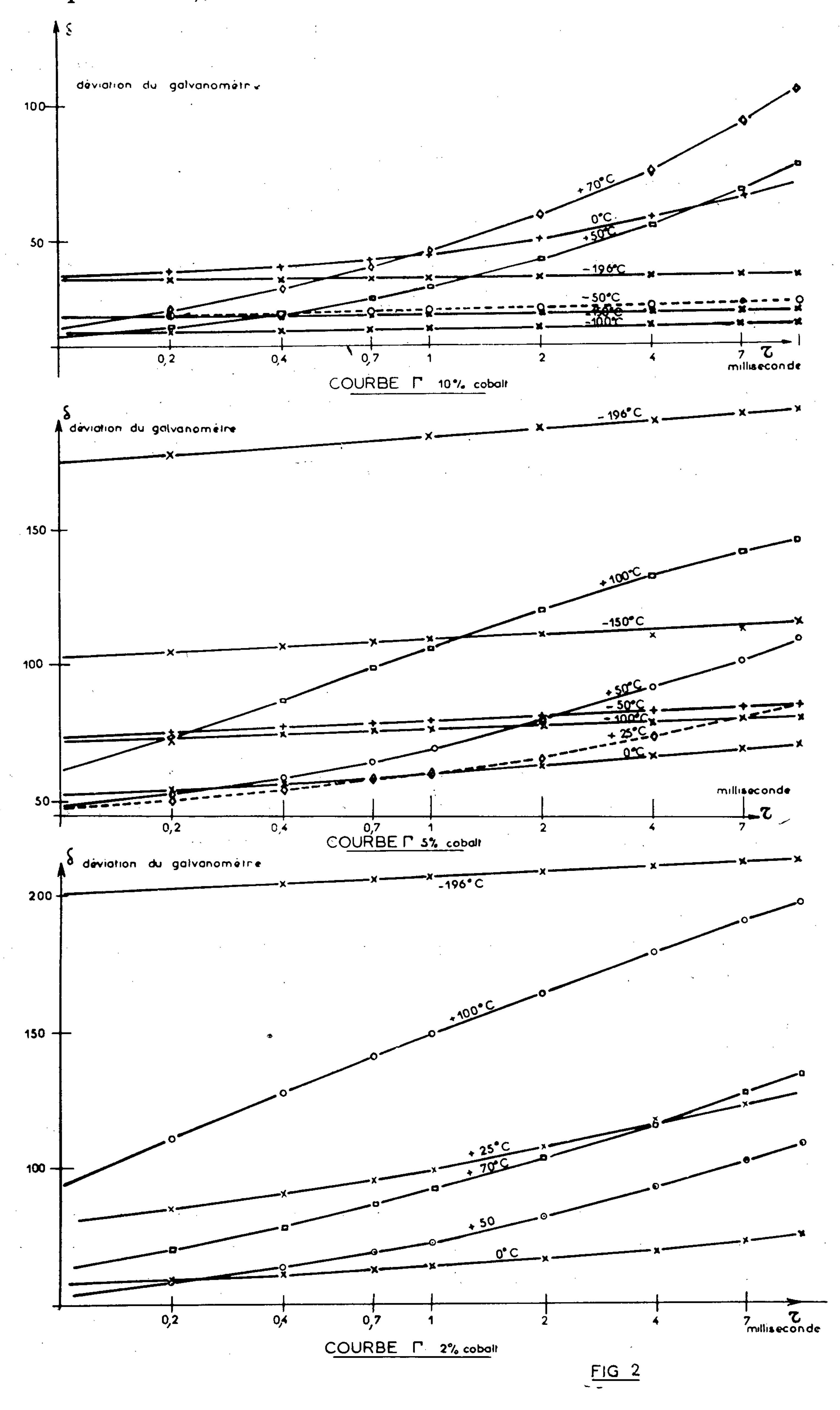


FIG 2

Les variations correspondantes sont alors proportionnelles à AA′, car CC′ reste sensiblement constant dans ces conditions.

Les échantillons se présentent sous forme de tores à section rectangulaire (diamètre extérieur : 34,6 mm; diamètre intérieur 23,0 mm; hauteur : 10,8 mm), et on leur applique, pendant le temps τ, un champ égal au champ coercitif.

Nous avons réalisé un système électronique fournissant le signal désiré : l'étage de sortie est un transistor de puissance, qui fonctionne en interrupteur, ce qui évite de corriger l'évolution de ses caractéristiques en fonction de la température ambiante.

Le circuit aux bornes du secondaire joue un rôle important : en effet, si I_1 est le courant primaire et I_2 le courant induit dans le secondaire, le champ appliqué au matériau sera à chaque instant directement proportionnel à $N_1 I_1 - N_2 I_2$, et le calcul montre que si l'on suppose le temps d'établissement du courant primaire nul, le champ, dans le matériau, est appliqué en fonction du temps suivant :

$$H(t) = \frac{N_1 I_1}{l} \left\{ 1 - \exp\left(- \frac{R_2}{L_2} t \right) \right\},$$

où l est la longueur moyenne du tore.

Donc, si l'on veut que la variation du courant primaire I_1 connue par une mesure à l'oscilloscope, donne une image exacte de la variation du champ appliqué, il faut que la constante de temps secondaire L_2/R_2 soit plus petite que L_1/R_1, ce que nous avons réalisé en ajoutant une résistance en série dans le circuit secondaire (ce qui diminue la sensibilité du galvanomètre).

Les circuits que nous avons utilisés sont tels que $L_1/R_1 = 10\ \mu s$ et $L_2/R_2 = 1\ \mu s$. Nous pouvons donc prendre 100 μs comme valeur minimale de τ. La valeur maximale admissible pour τ dépend de l'erreur systématique de lecture ε; nous l'avons fixée à 10 ms.

Nous avons étudié des ferrites de nickel-cobalt de formule Fe_2O_3, $Ni_{1-x} Co_x O$, où x prend les valeurs 0,02, 0,05 et 0,10. Ces poudres comprimées ont ensuite toutes subi le même traitement thermique pour le frittage à 1200° C.

Les courbes (Γ) obtenues sont indiquées sur la figure 2. Les ordonnées représentent la déviation δ du galvanomètre et les abscisses, en échelle logarithmique, la durée d'application du champ (toujours égal au champ coercitif). Nous remarquons qu'aux très basses températures la courbe est rectiligne, puis a une concavité dirigée vers le haut, et il semble que, pour les plus hautes températures utilisées, la concavité devienne négative.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(*Centre d'Études nucléaires, Grenoble.*)

PHYSIQUE DES PLASMAS. — *Sur une source de protons à faisceaux multiples.* Note (*) de M. **Gaston Olive**, présentée par M. Francis Perrin.

En vue de l'injection dans une machine à miroirs, une source de protons à ionisation haute fréquence a été construite. Le système d'extraction comporte plusieurs tunnels d'extraction, assurant la formation de jets parallèles, à forte densité, non perturbés par la charge d'espace. La source a débité en continu jusqu'à 13,5 mA, avec un bon rendement énergétique et une faible perte de gaz neutre.

Entre autres problèmes, l'obtention d'un plasma confiné pose celui de l'injection des particules chargées. En général, le dispositif de confinement définit de façon étroite la puissance, l'intensité et surtout la géométrie du faisceau. Dans le cas où l'on injecte des particules de même signe, la charge d'espace joue un rôle nuisible, qui est de désorganiser le jet. On a donc essayé d'éviter cet effet par divers procédés.

L'effet d'interaction des particules d'un même faisceau croît d'une part avec la densité de courant, d'autre part avec son intensité totale. On peut essayer de diminuer cet effet en abaissant la densité de courant, ce qui conduit à étaler largement le faisceau injecté. Le débit de gaz neutre entre la chambre d'ionisation et l'enceinte où se trouve la cible limite cette possibilité.

Un autre artifice a été tenté : au lieu d'injecter un faisceau homogène, on peut injecter plusieurs faisceaux de faible diamètre; les orifices d'injection étant étroits, bien que nombreux, ne permettent qu'un faible écoulement moléculaire de gaz neutre.

Cette idée, suggérée par J.-L. Delcroix, a été appliquée au Laboratoire de Physique des Plasmas, à un dispositif d'injection de protons destiné à une machine à miroirs.

L'injection doit se faire dans l'axe du champ à travers l'un des miroirs, par une ouverture de 80 mm de diamètre environ. Les faisceaux doivent être parallèles, la source peu encombrante. Il n'est donc pas question de multiplier le nombre de sources classiques, mais bien de modifier une source donnée pour l'adapter à ces exigences. L'intensité désirée est de 1 mA, accéléré sous un voltage inférieur à 1500 V.

Nous avons modifié la source décrite par Allison et Norbeck ([1]). C'est une source à ionisation par courant haute fréquence dont la caractéristique est un dispositif d'extraction très simple : il se compose de deux plaquettes circulaires superposées de métal et de silice, percées par le tunnel d'extraction.

Ce même dispositif a été agrandi à un diamètre de 74 mm, et percé de plusieurs orifices d'extraction, chacun d'eux assurant la formation d'un faisceau de protons.

Nous avons vérifié essentiellement que la source fonctionnait correctement. On pouvait, en effet, craindre au départ que le faible écart entre deux tunnels n'empêche la formation des jets. En fait, ceux-ci (jusqu'à 7 sur une même source) se sont formés sans perturbation, comme dans le cas d'une source à orifice unique.

Performances. — Nous avons étudié des sources répondant aux caractéristiques suivantes (*figure*) : les orifices d'extraction sont tous identiques :

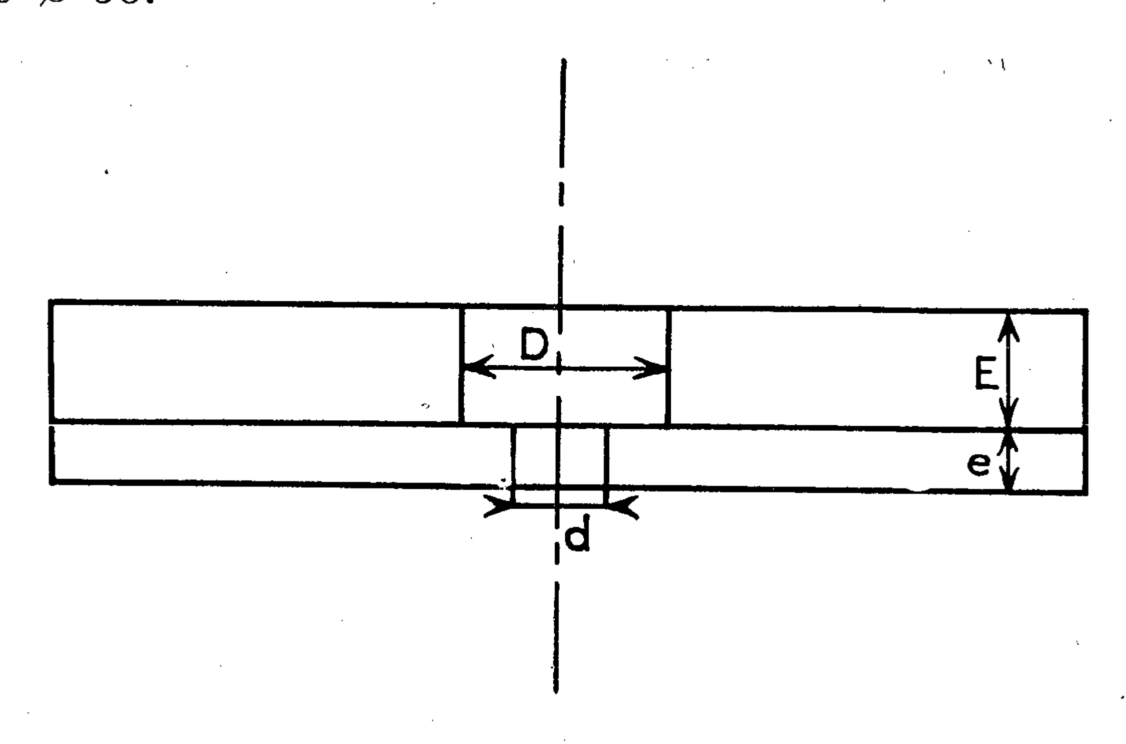
$$e = d = 2 \text{ mm}, \quad E = 3 \text{ mm}, \quad D = 4,5 \text{ mm}.$$

Source A : 1 orifice central.

Source B : 3 orifices à 120° sur cercle de Ø 34.

Source C : 3 orifices à 120° sur cercle de Ø 34 et 1 orifice central.

Source D : 1 orifice central, 3 à 120° sur cercle de Ø 34, et 3 à 120° sur cercle de Ø 50.



Nous avons ainsi gardé une distance suffisante d'orifice à orifice, évitant aussi les interactions ultérieures entre faisceaux.

La source A sert d'étalon, de « source unité ». La comparaison de A, B, C permet de vérifier l'additivité des intensités : $i_C = i_A + i_B$, c'est-à-dire la non-interaction des faisceaux en formation.

Pour une tension d'extraction de 1500 V, une excitation haute fréquence de 150 W, on a les résultats suivants :

Source.	Intensité fournie (mA).	Rendement (%).	Source.	Intensité fournie (mA).	Rendement (%).
A............	1,13	4,6	C............	7,8	4
B............	6,8	4	D............	12,2	8

Le rendement indiqué est le rapport du nombre de *p* protons au nombre de particules neutres débitées dans l'enceinte de la machine à miroirs.

1° On voit que les intensités ne sont pas proportionnelles au nombre d'orifices, mais augmentent plus rapidement. Il semble que les orifices les plus rapprochés des parois de la chambre d'ionisation donnent des faisceaux plus intenses.

Les intensités fournies sont fortes et, compte tenu de la faible puissance haute fréquence dont on dispose, la source D se place parmi les sources signalées par un bon rendement énergétique. En cherchant une tension d'extraction optimale, qui est de 5 000 V environ, on doit pouvoir élever encore ce rendement.

2° Le débit en gaz neutre à travers les orifices est la limitation la plus importante. Nous avons étudié l'intensité fournie en fonction des débits. L'intensité et le rendement sont maximaux pour des débits correspondant à une pression de $1,6.10^{-2}$ mm Hg dans la chambre d'ionisation.

Toutefois, dans le cas de la source D, ce débit (qui est de 146 cm^3/h (mesurés dans les conditions normales) correspond à une pression de $0,75.10^{-2}$ mm. D'où son excellent rendement (jusqu'à 10 %).

Conclusion. — En résumé, ce dispositif permet d'éviter l'influence de la charge d'espace, tout en assurant des intensités plus élevées que celles initialement prévues. Son rendement tant énergétique que gazeux semble aussi très satisfaisant.

(*) Séance du 5 septembre 1960.

(1) *Rev. Sc. Inst.*, 27, 1956, p. 285.

POLARIMÉTRIE. — *Méthodes de mesure photoélectrique du dichroïsme circulaire.* Note (*) de MM. **Jacques Badoz**, **Michel Billardon** et **Jean-Paul Mathieu**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Les erreurs provenant du chromatisme du quart d'onde et de l'existence du pouvoir rotatoire influencent beaucoup moins la mesure photoélectrique du dichroïsme circulaire que sa mesure visuelle. On propose une méthode nouvelle qui permet de s'affranchir des causes d'erreur précédentes.

1. Dans la méthode généralement utilisée pour la mesure du dichroïsme circulaire, on transforme, en rectiligne, la vibration elliptique à étudier, à l'aide d'un quart d'onde. On ramène alors la mesure du dichroïsme à celle d'une rotation (1). Comme l'orientation des axes de l'ellipse dépend du pouvoir rotatoire, il faut compenser celui-ci en tournant le polariseur OP et ramener l'ellipse à une orientation fixe. Par raison de simplicité, nous orientons, cependant, une fois pour toutes l'axe du quart d'onde selon OP. En adaptant le spectropolarimètre déjà décrit (2) à la mesure du dichroïsme, nous avons pu bénéficier de la sensibilité obtenue lors de la mesure du pouvoir rotatoire naturel.

L'ordre des opérations est le suivant (*fig.* 1) : production du phénomène — après traversée du milieu étudié on obtient une ellipse dont le grand axe a tourné d'un angle α' (pouvoir rotatoire) et dont l'ellipticité est φ (dichroïsme) —; transformation de φ en un angle de rotation (lame $\lambda/4$); puis, comme dans le cas du pouvoir rotatoire naturel, modulation (α_0), compensation (α_C) et détection. α_0 étant modulé ($\alpha_0 = \alpha_m \cos \omega t$), dans le courant photoélectrique on ne détecte que le terme modulé à cette fréquence. Ce terme s'annule si:

$$\text{(1)} \qquad \operatorname{tg} 2\alpha_C = \frac{\operatorname{tg} 2\varphi}{\cos 2\alpha'};$$

soit

$$\text{(2)} \qquad \alpha_C = \varphi(1 + 2\alpha'^2),$$

en développant (1) au second ordre, car φ, α', α_C, restent petits. L'angle de compensation α_C est égal à φ à 1/2 000e près (α' est inférieur à 1°). La précision et la sensibilité sont limitées par l'effet Schottky. Le rapport signal/bruit : $S/B = 2(\varphi - \alpha_C)(K_B . \Delta f)^{-1/2}$. $I_0^{1/2}$ est identique à celui obtenu dans le cas du pouvoir rotatoire naturel, puisque l'angle mesurant l'ellipticité est égal à l'angle α_C. On obtient donc une sensibilité de 10^{-3} degré dans les conditions normales de mesure.

Dans le calcul, nous avons supposé que la lame introduisait un retard de phase de $\pi/2$. Si ce retard est $\psi = (\pi/2) + \varepsilon$, l'expression (2) devient

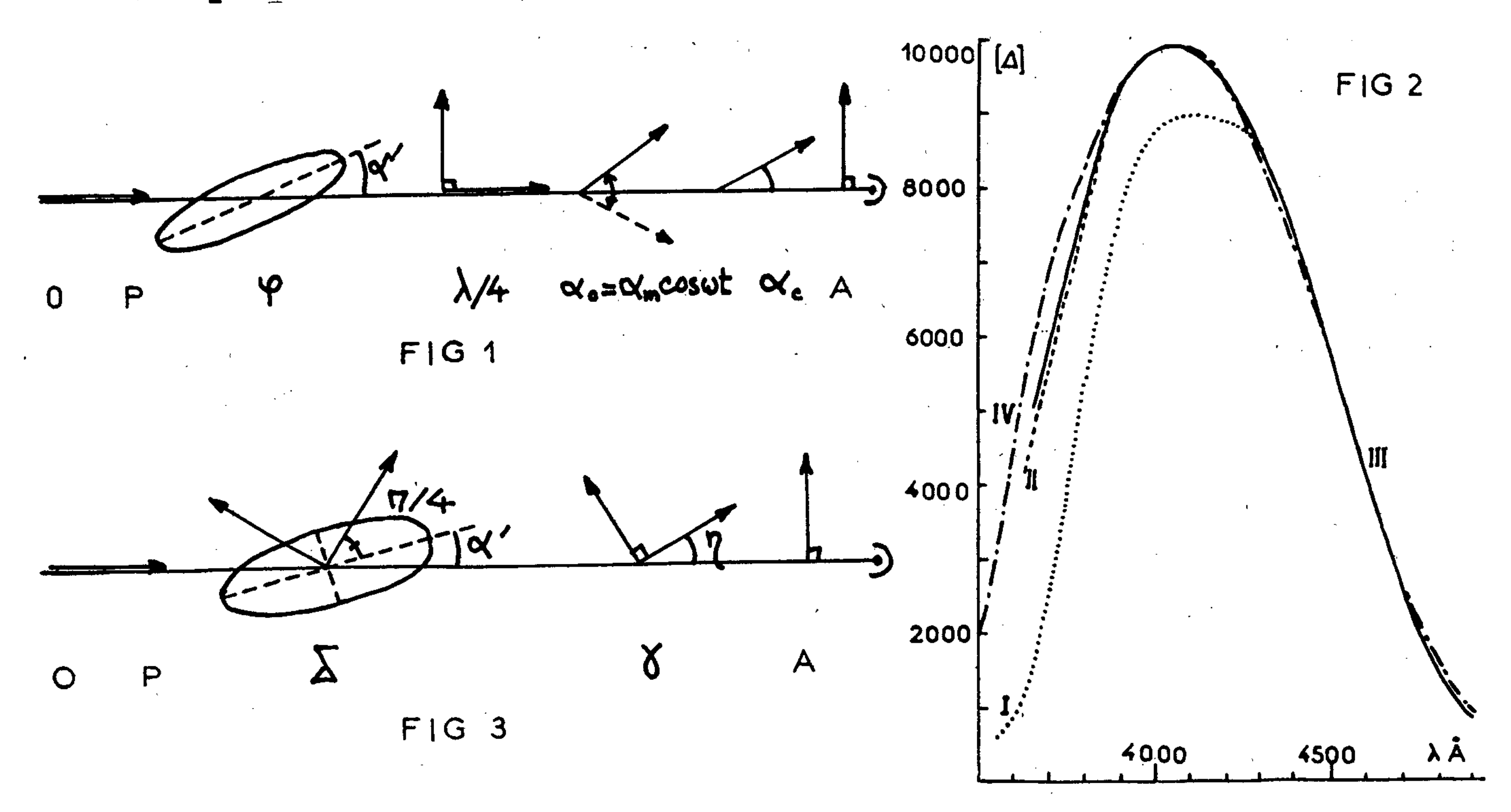
$$\text{(3)} \qquad \alpha_C = \varphi\left(1 - \frac{\varepsilon^2}{2}\right) + \alpha\varepsilon,$$

le terme $\varphi\varepsilon^2$ reste négligeable devant $\alpha\varepsilon$, d'où une erreur du premier ordre par rapport à φ :

$$(4) \qquad \alpha_C = \varphi + \alpha\varepsilon.$$

L'erreur principale sur φ, due à l'existence du pouvoir rotatoire, ne se manifeste que si la lame n'est pas quart d'onde; elle est alors du premier ordre. Toutefois, si ε ne dépasse pas 1°, l'erreur relative reste inférieure à 1 % pour $\alpha/\varphi \leqq 1/2$.

La figure 2 montre les résultats obtenus lors de la mesure du dichroïsme circulaire de $[Rh(C_2O_4)_3]K_3$. Dans cette expérience, nous avons utilisé une lame $\lambda/4$ pour $\lambda \simeq 4\,500$ Å, alors que le maximum de la courbe est vers 4100 Å. Les conditions étaient donc défavorables. La courbe I repré-



sente les mesures sans correction, la courbe II les mesures après correction de l'erreur $\alpha\varepsilon$, la courbe III après correction due à $[1 - (\varepsilon^2/2)]$ (corrections effectuées pour $\lambda < 4\,300$ Å) et la courbe IV le dichroïsme circulaire mesuré sur l'ellipse dont les axes étaient ramenés en coïncidence avec ceux du quart d'onde ([3]). La comparaison des différentes courbes montre que la mesure brute est correcte dans l'intervalle $4\,500 \pm 300$ Å, bien que α soit grand dans cette région. En comparant les courbes II, III et IV, on voit que, après corrections, les mesures sont correctes dans un intervalle $4\,500 \pm 600$ Å. La correction principale est due à $\alpha\varepsilon$.

On peut donc étudier une bande de dichroïsme, à condition de posséder une lame $\lambda/4$ centrée sur le maximum de la bande et d'effectuer des corrections qui nécessitent la connaissance de la dispersion rotatoire et de la dispersion de l'angle de phase de la lame.

2. On peut éviter tous ces inconvénients et mesurer le dichroïsme dans tout le spectre visible ou ultraviolet en reprenant le montage suivant ([4]) (*fig.* 3).

Le grand axe de la vibration elliptique émergeant du milieu dichroïque fait un angle α' avec la vibration rectiligne incidente (pouvoir rotatoire). L'ellipticité est φ (dichroïsme). On peut remplacer ce milieu actif par une lame biréfringente d'angle d'isocline $\beta = (\pi/4) + \alpha'$ et de retard de phase δ, sur laquelle tomberait le rectiligne OP, ($\sin\delta = \sin 2\varphi$). La lumière elliptique, émergeant du milieu dichroïque, traverse une lame biréfringente (angle d'isocline η et retard de phase γ) puis un analyseur, A, croisé avec P; le flux émergent est donné par l'équation (4) de ([4]) (où l'on fait $\beta = (\pi/4) + \alpha'$, $\sin\delta = \sin 2\varphi$, $\alpha = \eta$)

$$(5)\qquad \frac{2\Phi}{\Phi_0} = 1 - (\sin^2 2\alpha' + \cos^2 2\alpha'.\cos\varphi)(\cos^2 2\eta + \sin^2 2\eta.\cos\gamma) + \frac{1}{4}\sin 4\alpha'.\sin 4\eta(1-\cos 2\varphi)(1-\cos\gamma) + \underline{\cos 2\alpha'.\sin 2\eta.\sin\gamma.\sin 2\varphi}.$$

Une modulation $\gamma = \gamma_0 \sin\omega t$ ou $\eta = \omega t$ permettra, à l'aide d'un amplificateur sélectif et d'un détecteur synchrome, de ne mesurer que le terme souligné, Φ_S, de (5) proportionnel à $\sin 2\varphi$ (détection linéaire) ([5]). La modulation de la différence de phase peut être assurée soit à l'aide d'une biréfringence développée dans un cristal par un champ électrique longitudinal, ou dans un liquide par un champ électrique transversal tournant, soit par déplacement sinusoïdal d'un coin dont la biréfringence varie linéairement dans l'espace (coin cristallin ou coin photoélastique linéaire), selon des dispositifs qui seront décrits par ailleurs. On peut aussi moduler $\eta = \omega t$ à l'aide d'une lame biréfringente tournante ([6]).

En compensant le dichroïsme, on s'affranchit des fluctuations de luminance de la source, de gain des amplificateurs et l'on obtient une réponse indépendante de la répartition spectrale de la lumière. Aussitôt après le milieu dichroïque, on place une lame biréfringente d'angle d'isocline $\pi/4$ et d'angle de phase δ' (par exemple une cellule électro-optique de Kerr), telle que le terme, Φ_S, s'annule. Le calcul montre que

$$(6)\qquad \operatorname{tg} 2\varphi = -\operatorname{tg}\delta'.\cos 2\alpha' \simeq -(1-2\alpha'^2)\operatorname{tg}\delta'.$$

Comme α' reste inférieur à 1° ([2]), $2\varphi = -\delta'$ à mieux que 10^{-3} près, dans tout le spectre. La sensibilité reste celle des montages semblables ([5]).

(*) Séance du 3 octobre 1960.

([1]) G. Bruhat, *Traité de Polarimétrie* (*Revue d'Optique*, 1930).

([2]) M. Billardon et J. Badoz, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2466.

([3]) J. P. Mathieu, *J. Chim. Phys.*, 33, 1936, p. 78.

([4]) H. Wayland et J. Badoz, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 688.

([5]) J. Badoz, *J. Phys. Rad.*, 17, 1956, p. 143 A.

([6]) J. Leray et G. Scheibling, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 349.

(*École Supérieure de Physique et Chimie, Laboratoire d'Optique, Paris, 5e et Faculté des Sciences, Physique générale, Paris, 5e.*)

SPECTROSCOPIE MOLÉCULAIRE. — *Sur la réaction de l'azote actif avec l'hydrogène atomique.* Note (*) de MM. **Henri Guenebaut**, **Guy Pannetier** et **Pierre Goudmand**, présentée par M. Gustave Ribaud.

La réaction entre l'azote actif et l'hydrogène atomique est étudiée spectroscopiquement. On y observe le 1er système positif de l'azote et l'émission inattendue du 2e système positif de N_2 ainsi que du système $^3\Pi - {}^3\Sigma^-$ de NH. Une interprétation théorique est proposée.

Des observations spectroscopiques récentes nous ont permis de mettre en évidence la formation du radical NH à l'état excité $^3\Pi$ au cours des processus réactionnels accompagnant le passage d'une onde de choc (rapport des pressions initiales ~ 350) dans le mélange ($N_2 + H_2$) dilué par 95 % d'argon [1]. L'interprétation théorique de ce résultat, vraisemblablement compatible avec l'hypothèse d'une dissociation primaire partielle de N_2 et H_2 sous l'influence de la haute température, nous a conduit à étudier directement la réaction de l'azote actif avec l'hydrogène atomique.

Ces deux gaz actifs sont obtenus par passage respectif d'hydrogène et d'azote bien désoxygéné commerciaux à travers une décharge électrique haute tension (2 kVA sous 10 000 V pour H_2, 2,2 kVA sous 6 000 V pour N_2). Leur réaction est réalisée sous une pression de 0,8 à 1 mm Hg et en régime dynamique rapide (900 l/mn) dans une chambre sphérique de 500 cm^3; les deux gaz actifs y sont introduits séparément par l'intermédiaire de deux tubulures radiales à 45° l'une de l'autre environ; leur mélange s'effectue au centre de la chambre et l'on réalise les observations spectroscopiques latéralement à travers une fenêtre de quartz, toutes les précautions étant prises pour éliminer les rayonnements parasites en provenance des deux tubes à décharge. A la sortie de la chambre à réaction, les gaz traversent un piège à azote liquide qui retient les produits condensables.

Observations générales. — Dans ces conditions expérimentales, la réaction (N + H) ne donne lieu dans la chambre à l'apparition d'aucun phénomène visible intense. Dans le piège, par contre, une luminescence bleue prend naissance; ses caractéristiques (vitesse d'apparition, intensité) semblent plus particulièrement sensibles aux variations de débit de l'azote; spectroscopiquement, on y observe un fond continu dans la région du fond continu mis en évidence à partir de la luminescence résultant du passage du mélange ($N_2 + H_2$) activé par décharge électrique, dans un piège à azote liquide [2].

L'analyse des produits condensables de la réaction permet de caractériser la formation d'ammoniac, d'hydrazine en faible quantité par rapport à NH_3, l'absence de l'ion N_3^-.

Observations spectroscopiques. — Elles ont été effectuées à l'aide d'un spectrographe Hilger E 486. Le spectre de la réaction de l'azote actif avec l'hydrogène atomique est caractérisé par la présence : *a.* du système $^3\Pi - {}^3\Sigma^-$ de NH dont on n'observe nettement que les bandes 0,0 et 1,1 ; *b.* des 1er et 2e systèmes positifs de l'azote moléculaire N_2, correspondant respectivement aux transitions $^3\Pi_g - {}^3\Sigma_u^+$ et $^3\Pi_u - {}^3\Pi_g$. On note l'absence des bandes de N_2^+ (1er système négatif) et des raies atomiques de N ou de H.

Des observations complémentaires ont été réalisées : 1° avec H et l'azote moléculaire non activé : aucune émission n'est observée, il n'y a pas formation d'ammoniac dans le piège; 2° avec l'azote actif seul ou en présence d'hydrogène moléculaire non activé : dans l'un ou l'autre cas, il y a émission du 1er système positif de l'azote correspondant à la postluminescence de Lewis Rayleigh (3); aucune trace de NH_3 dans le piège.

Conclusions. — Deux résultats inattendus résultent des observations spectroscopiques précédentes sur la réaction (N + H).

A. La formation de NH à l'état excité $^3\Pi$: à moins d'admettre l'existence d'une excitation purement thermique, la formation de NH ($^3\Pi$) semble, en effet, impossible *a priori* puisque hors de la décharge les atomes N et H sont dans leurs états fondamentaux N (^{4}S) et H (^{2}S) et ne peuvent par suite normalement conduire qu'à la formation de NH ($^3\Sigma^-$).

B. L'émission du 2e système positif de l'azote : malgré l'énergie d'excitation élevée (11 eV) qui la caractérise, cette émission prend naissance par un processus lié à la présence de l'hydrogène atomique, au sein de la postluminescence de Lewis Rayleigh (1er système positif seulement). Les observations complémentaires 2° précédentes confirment en effet que nous sommes en dehors de la zone de postluminescence de courte durée de Beale et Broida (4) (1er pos., N_2^+ intenses, 2e pos. faible) et de l'influence parasite du rayonnement de la décharge dans l'azote (1er pos., 2e pos., N_2^+ intenses).

Interprétations. — Pour expliquer la formation des radicaux NH ($^3\Pi$) et N_2 ($^3\Pi_u$) au cours de la réaction entre l'azote actif et l'hydrogène atomique, nous admettrons tout d'abord que l'émission du 1er système positif de N_2 y résulte d'un processus identique à celui intervenant dans la postluminescence Lewis Rayleigh; cette hypothèse semble vraisemblable *a priori* puisque nos observations sont précisément effectuées dans le domaine d'émission de cette postluminescence. Nous préconiserons donc pour la formation de N_2 ($^3\Pi_g$) le mécanisme suivant (3) :

$$N(^4S) + N(^4S) \rightarrow N_2(^5\Sigma_g^+)$$

suivi de

$$(\alpha) \qquad N_2(^5\Sigma_g^+) \rightarrow N_2(^3\Pi_g)_{v'=12},$$

N_2 ($^5\Sigma_g^+$) correspond en effet à une configuration électronique instable susceptible de conduire, à la faveur d'une collision, à l'état N_2 $(^3\Pi_g)_{v'=12}$ par l'intermédiaire d'une « transition sans rayonnement ».

Nous remarquerons également que l'absence de réaction (NH_3 absent) et des émissions dues à NH ($^3\Pi$) et N_2 ($^3\Pi_u$) dans les mélanges où un seul des deux gaz N_2 et H_2 a été soumis à la décharge, semble montrer que la formation de NH ($^3\Pi$) et N_2 ($^3\Pi_u$) provient de réactions entre espèces actives plutôt que d'une intervention directe des molécules N_2 et H_2 non dissociées et dans leurs états fondamentaux, présentes dans le mélange.

A l'appui de ces remarques, le processus suivant de formation de NH ($^3\Pi$) et N_2 ($^3\Pi_u$) nous apparaît le plus probable

$$N(^4S) + H(^2S) \rightarrow NH(^5\Sigma^-),$$

la courbe d'énergie potentielle de la molécule NH ($^5\Sigma^-$) correspond à une configuration électronique instable susceptible de conduire, par un processus inverse de la prédissociation, à la molécule NH ($^3\Pi$) dans un niveau vibrationnel élevé ([4]); cette molécule devrait donc normalement donner lieu à l'émission de bandes de vibration du système $^3\Pi - {}^3\Sigma^-$ de NH correspondant à des niveaux d'énergie élevés (bandes actuellement inconnues), or on n'observe, en réalité, que les bandes 0,0 et 1,1. Il est possible que la molécule NH ($^3\Pi$) au niveau énergétique élevé auquel elle se trouve formée, subisse de fortes perturbations (état métastable) et qu'elle ait tendance à céder une partie de son énergie vibrationnelle à la molécule N_2 ($^3\Pi_g$) elle-même dans un état vibrationnel élevé [réaction (α) précédente], par l'intermédiaire d'un complexe activé

$$NH(^3\Pi)_{v'\,\text{élevé}} + N_2(^3\Pi_g)_{v'=12} \rightarrow [N_3H] \quad \text{(molécule excitée instable)},$$
$$[N_3H] \rightarrow NH(^3\Pi)_{v'=0,1} + N_2(^3\Pi_u)$$

(réaction thermodynamiquement possible) ; elle est en effet susceptible de fournir 3,5 eV ([5]), ([6]) alors qu'il en suffirait 1,5 environ pour exciter N_2 ($^3\Pi_u$) à partir de N_2 $(^3\Pi_g)_{v'=12}$.

Ce processus permettrait donc d'expliquer aussi bien la formation de NH ($^3\Pi$) dans un faible niveau d'énergie de vibration que l'apparition du 2e système positif de l'azote.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) H. Guenebaut, G. Pannetier et P. Goudmand, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1166.

(2) G. Pannetier, P. Goudmand, H. Guenebaut et L. Marsigny, *J. Chim. Phys.*, 57, 1960, p. 951-957.

(3) U. H. Kurzweg et H. P. Broida, *J. Mol. Spectr.*, 3, 1959, p. 388-404.

(4) G. E. Beale et H. P. Broida, *J. Chem. Phys., Molecular Spectra and Molecular Structure*, 31, n° 4, 1959, p. 1030-1034.

(5) G. Hertzberg, I. *Spectra of Diatomic Molecules*, 2e éd., Van Nostrand, New York, 1957, p. 369.

(6) H. Guenebaut, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1959, p. 962.

(*Faculté des Sciences de Paris, Laboratoire de Chimie X, 12, rue Cuvier, Paris, 5e.*)

SPECTROSCOPIE MOLÉCULAIRE. — *Spectre infrarouge et structure du chlorure de tétraméthylammonium.* Note (*) de MM. **Vincenzo Lorenzelli** et **Karl Dieter Möller**, présentée par M. Jean Lecomte.

On a mesuré le spectre infrarouge du $(CH_3)_4NCl$, entre 2,5 et 50 μ, avec des spectrographes à prisme. Les fréquences d'absorption sont attribuées aux différentes vibrations fondamentales en admettant que l'ion $(CH_3)_4N^+$, considéré isolément, ait une structure tétraédrique correspondant au groupe de points T_d.

A. Pour poursuivre l'étude des dérivés alkylés de l'ammoniac ([1]) et des sels correspondants, nous avons mesuré le spectre infrarouge du chlorure de tétraméthylammonium, à l'état solide, entre 2,5 et 50 μ. On a utilisé un spectrographe Perkin Elmer mod. 21 à double faisceau, avec prismes en NaCl et CsBr pour la région 2,5-40 μ, et un Perkin Elmer mod. 12 *c* à simple faisceau avec prisme en CsI pour atteindre 50 μ. La substance était un produit pur de la Société Carlo Erba de Milan : elle a été examinée sous forme de poudre dans de l'huile de vaseline et en pastille avec du bromure de potassium.

Le spectre infrarouge, que nous avons mesuré, est présenté dans le tableau I avec les fréquences du spectre Raman données par J. T. Edsall ([2]) et les attributions aux différents modes de vibration.

Tableau I.

Infrarouge (nos mesures) (cm⁻¹).	Raman (Edsall) (cm⁻¹).	Attribution.	Infrarouge (nos mesures) (cm⁻¹).	Raman (Edsall) (cm⁻¹).	Attribution.
3 020 F	3 037	$\nu(CH_3)$	1 290 m	1 289	rot (CH_3)
2 920 F	2 930	$\nu(CH_3)$	965, 947, 927 } FF	955	ν(N-C)
1 494, 1 487, 1 482 } F	1 455	δ(CH)	471 f	–	–
1 446 f	–	–	455 m	455	δ(N-C)
1 406, 1 401 } F	1 418	$\delta(CH_3)$			

B. Une étude très complète des composés tétraméthyliques du quatrième groupe (tétraméthylméthane, tétraméthylgermanium, tétraméthylétain, etc.) a été faite par H. Siebert ([3]), qui a résolu, par la méthode des matrices de Wilson, le problème mathématique de ce type de molécules.

Siebert a appliqué la même méthode de calcul aux composés méthyliques des éléments du cinquième groupe ([4]), en considérant le cation isolé : ce qui se justifie parce qu'à l'état solide le réseau est constitué par des ions positifs $(CH_3)_4 N^+$ et des ions Cl^-, et l'oscillation cation-anion a sans doute une fréquence très petite, que nous ne pouvons pas atteindre avec les appareils à notre disposition.

Si l'ion tétraméthylammonique isolé appartient au groupe de points T_d, les 45 oscillations fondamentales se classent comme dans le tableau II.

TABLEAU II.

Classe.	Nombre de vibrations.	Infrarouge (Activité).	Raman (Activité).
A_1	3	Inact.	Act.
A_2	1	»	»
E	4	»	»
F_1	4	»	»
F_2	7	Act.	»

On peut donc prévoir dans le spectre infrarouge sept oscillations actives trois fois dégénérées. En effet, comme on le voit dans le tableau I, nous avons trouvé un nombre correspondant de bandes intenses ou moyennes, qui peuvent aisément être attribuées, en accord avec les assignations de Siebert.

En particulier, on doit remarquer que la bande à 455 cm^{-1} correspondant à l'oscillation δ (N — C), trois fois dégénérée dans cet ion, correspond bien, comme fréquence, à la bande à 423 cm^{-1} de la triméthylamine, que nous avions mise en évidence dans un travail précédent [1], et de même attribuée à la vibration antisymétrique de déformation du squelette. Bien entendu, il ne faut pas oublier l'état d'agrégation différent, dans lequel ont été obtenus les spectres des deux corps, qui peut produire quelque différence dans les maximums observés.

Les fréquences, que nous avons données dans le tableau I, correspondent aux spectres obtenus avec la substance comprimée sous forme de pastille avec du bromure de potassium. La structure complexe des bandes 1494-1487-1482 cm^{-1}, 1406-1401 cm^{-1} et 965-947-927 cm^{-1} pourrait alors être attribuée aux déformations du réseau cristallin induites par effet de la forte pression (300 kg/cm^2); mais la structure complexe existe aussi dans les spectres de la substance avec vaseline (bien que les deux bandes de la vaseline, dans cette région, compliquent la lecture des spectres). La complexité doit donc être attribuée plus justement à l'effet du champ électrostatique à l'intérieur du réseau. Il ne faut pas oublier, qu'en réalité, l'ion tétraméthylammonique n'est pas isolé, mais se répète périodiquement dans le cristal. La symétrie réelle est donc plus petite que celle correspondant au groupe de points T_d, ce qui peut éliminer la dégénérescence des oscillations et faire apparaître la structure complexe.

En tout cas, le fait que le spectre infrarouge montre seulement sept bandes d'absorption confirme la validité de la simplification de Siebert, et surtout la structure de l'ion $(CH_3)_4\,N^+$ (groupe T_d). Que les fréquences effectives puissent être quelque peu différentes de celles obtenues avec les pastilles de KBr, ne modifie en rien les conclusions.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) V. LORENZELLI, K. D. MÖLLER et A. HADNI, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 239.

(2) H. SIEBERT, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 268, 1952, p. 177.

(3) H. SIEBERT, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 273, 1953, p. 161.

(*Laboratoire de Recherches physiques, Sorbonne.*)

PHYSIQUE DU MILIEU CRISTALLIN. — *Charge effective des ions qui forment les cristaux d'halogénures alcalins. Dédoublement des fréquences des oscillations de la branche optique.* Note de M. **Nino Boccara**, présentée par M. Jean Laval.

Afin de rendre compte du spectre des fréquences des cristaux d'halogénures alcalins, on a établi une expression de la charge électrique effective en fonction du rapport des fréquences des oscillations optiques de grandes longueurs d'onde.

Il est commode de considérer le champ de forces cristallin comme la somme d'un champ « tensoriel » et d'un champ coulombien. Dans le champ de forces tensoriel, sont prises en compte toutes les interactions non coulombiennes : les forces de répulsion dues à la pénétration mutuelle des ions et les forces de Van der Waals entre ions très proche voisins. Les forces de rappel du type tensoriel que deux ions exercent l'un sur l'autre décroissent très rapidement avec leur distance. Au contraire, l'action du champ coulombien d'un ion se fait sentir à plus longue distance. Toutes les grandeurs qui s'expriment linéairement en fonction des constantes élastiques peuvent être résolues en deux parties, l'une tensorielle (indice t) et l'autre coulombienne (indice c).

En particulier, si nous considérons les fréquences des oscillations thermiques pilotées par des vecteurs d'onde infiniment petits, nous pouvons écrire

$$\nu^2_{0L} = \nu^2_{0Lt} + \nu^2_{0Lc} \quad \text{pour les oscillations longitudinales,}$$
$$\nu^2_{0T} = \nu^2_{0Tt} + \nu^2_{0Tc} \quad \text{pour les oscillations transversales.}$$

Le dédoublement de la fréquence optique principale étant dû uniquement aux interactions coulombiennes, on a toujours

$$\nu^2_{0Lt} = \nu^2_{0Tt}.$$

Le champ électrique effectif agissant sur un ion lorsque le milieu cristallin est le siège d'oscillations longitudinales de grande longueur d'onde est égal à $-(8\pi/3)(e^\star/v)(u_1 - u_2)$, où $e^\star$ désigne la charge électrique effective, v le volume de la maille élémentaire et u_1 et u_2 respectivement les élongations du cation et de l'anion.

Le principe de d'Alembert, appliqué aux oscillations longitudinales donne

$$\mu_1 \ddot{u}_1 = -\frac{8\pi}{3}\frac{e^{\star 2}}{v}(u_1 - u_2),$$

$$\mu_2 \ddot{u}_2 = +\frac{8\pi}{3}\frac{e^{\star 2}}{v}(u_1 - u_2),$$

où μ_1 et μ_2 sont respectivement les masses du cation et de l'anion. Les oscillations étant harmoniques, on a

$$4\pi^2 \nu_{0Lc}^2 \mu_1 u_1 = + \frac{8\pi}{3} \frac{e^{*2}}{v} (u_1 - u_2),$$

$$4\pi^2 \nu_{0Lc}^2 \mu_2 u_2 = - \frac{8\pi}{3} \frac{e^{*2}}{v} (u_1 - u_2).$$

En multipliant la première relation par μ_2, la deuxième par μ_1, et en retranchant, on obtient

$$\nu_{0Lc}^2 = \frac{2}{3\pi} \frac{e^{*2}}{v} \frac{1}{\mu},$$

où μ est la masse réduite des deux ions :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}.$$

Le calcul de ν_{0Tc}^2 s'effectue de même; il suffit de remplacer $-8\pi/3$ par $4\pi/3$ dans l'expression du champ électrique effectif; on trouve alors

$$\nu_{0Tc}^2 = - \frac{1}{3\pi} \frac{e^{*2}}{v} \frac{1}{\mu}.$$

En portant ces valeurs dans l'expression

$$\frac{\nu_{0L}^2 - \nu_{0T}^2}{\nu_{0T}^2} = \rho^2 - 1,$$

où $\rho = \nu_{0L}/\nu_{0T}$ est le rapport des fréquences principales, on trouve

$$e^* = \nu_{0T} \sqrt{\pi v \mu (\rho^2 - 1)},$$

ν_{0T} étant la fréquence de la radiation infrarouge absorbée par le cristal.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Distribution angulaire des jets produits par des noyaux primaires lourds.* Note (*) de Mme **Elena Balea**, M. **Erwin M. Friedländer**, Mmes **Constanța Potoceanu** et **Maria Sahini**, transmise par M. Horia Hulubei.

A la suite d'observations (1), (2), aux énergies relativement basses (10^{10} eV), l'un des auteurs a démontré (3) que dans les collisions de très haute énergie ($\sim$ 1 TeV et plus), la plupart des jets dus aux nucléons représente de même effectivement une paire de collisions quasi indépendantes nucléon-pion, affectant des pions quasi libres dans le nuage mésonique de l'autre partenaire du choc.

Ici nous rapportons les résultats d'une étude de 53 jets produits par des noyaux cosmiques primaires de charge $Z \geqq 2$, constituant de nouvelles preuves à l'appui des conclusions de (3).

En effet, un noyau primaire lourd représente, en quelque sorte, un faisceau de nucléons monocinétiques. Cette idée permet d'entreprendre dans le domaine de la radiation cosmique, des recherches genre (1) et (2) accessibles jusqu'ici seulement à l'aide des accélérateurs.

Le matériel provient de trois paquets d'émulsions Ilford G 5 exposés dans la stratosphère au rayonnement cosmique primaire (Sardaigne, 1954; vallée du Po, 1957 et 1958). Les jets dus aux α ont été obtenus par exploration en surface, ceux à $Z \geqq 3$ en suivant les traces des primaires.

La distribution angulaire des jets a été analysée en coordonnées $x = \log \operatorname{tg} \theta$. Vingt-deux de nos jets (classe B) présentent une structure typique à deux maximums, et ont été analysés au point de vue du modèle à deux centres (4), (5). Nous avons donc calculé les facteurs de Lorentz γ^+ et γ^- des deux centres dans le système du laboratoire, leur facteur de Lorentz commun $\bar{\gamma}$ dans le système du centre de masse, la dispersion σ de x et le coefficient de bimodalité D, défini par Gierula et al. (8). Les valeurs de γ^+ et γ^- ont été corrigées pour le spectre non monoénergétique des secondaires suivant (6), (7) et (1). L'énergie totale pronucléon du primaire γ_0 est donnée par $\sim 2\,\gamma^+\gamma^-$, et pour un γ_0 donné, chacune des grandeurs γ^+/γ^-, $\bar{\gamma}$, σ et D permet une comparaison avec les prédictions du modèle pionique (3). Cette comparaison est faite pour les valeurs moyennes dans le tableau I. La variation théorique de γ^+ et γ^- avec γ_0 est représentée dans la figure 1 en trait plein et les jets de classe B par des cercles. La concordance des valeurs observées avec leurs espérances mathématiques est évidente et démontre que la plupart des chocs noyau-noyau se réduisent à des collisions individuelles des nucléons avec des pions appartenant aux nuages mésoniques des différents nucléons en présence. Cette conclusion est confirmée par la bonne concordance des valeurs de σ avec la courbe calculée de la

figure 2, et par la distribution des valeurs de D (*fig.* 3), qui est en accord avec une valeur presque unique de D.

Neuf autres jets (classe C) présentent une structure plus compliquée dans laquelle on peut distinguer plusieurs maximums, rappelant la structure des diagrammes similaires observés dans les jets d'accélérateurs [1]. Ce fait apparaît très prononcé sur un jet de 180 mésons où, en plus des maximums correspondant aux chocs périphériques N-π et π-N, apparaissent des maximums correspondant aux chocs centraux N-N et N-2 N. Rappelons que des chocs pion-pion qui sont sûrement présents [2], donnent un maximum au même lieu que les chocs centraux N-N.

	Classe A.	Classe B.	Classe C.
Z	5 ± 1	5 ± 1	8 ± 2
N_h	7 ± 1	7 ± 1	12 ± 2
n_s	11 ± 1	22 ± 2	55 ± 16
γ_0	27 ± 5	100 ± 31	54 ± 9
$\frac{\gamma^+}{\gamma^-}$ calc.	–	5,4	–
$\frac{\gamma^+}{\gamma^-}$ obs.	–	$5,7 \pm 0,6$	–

	Classe A.	Classe B.	Classe C.
$\bar{\gamma}$ calc.	–	1,41	–
$\bar{\gamma}$ obs.	–	$1,41 \pm 0,05$	–
$\bar{\sigma}$ calc.	0,50	0,52	–
$\bar{\sigma}$ obs.	$0,41 \pm 0,03$	$0,49 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,03$
D calc.	0,07	0,09	–
D obs.	$0,09 \pm 0,05$	$0,14 \pm 0,06$	$0,20 \pm 0,05$

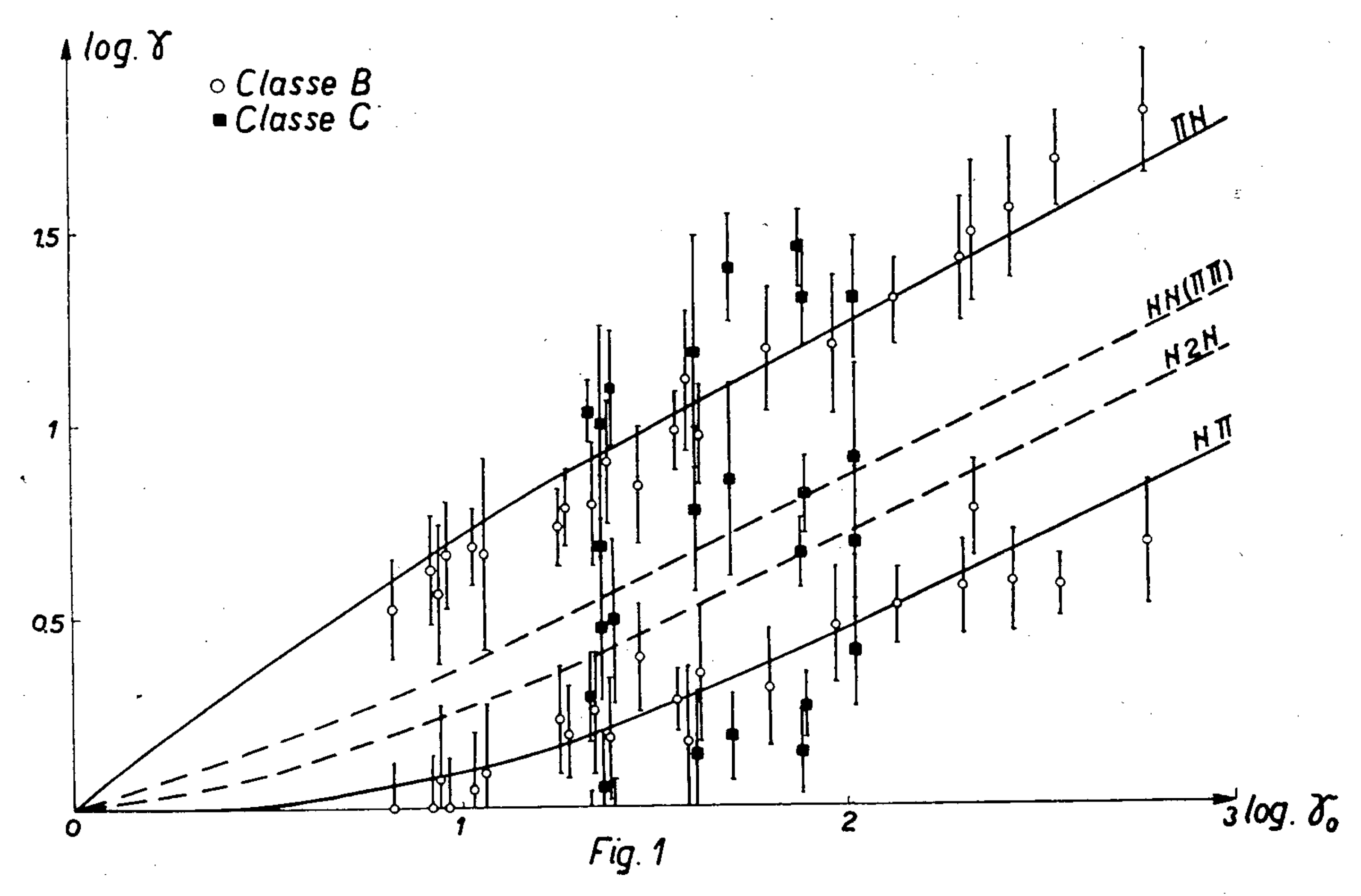


Fig. 1

Les notations Nπ et πN doivent être inversées.

Ces jets « à plusieurs centres » sont représentés par des carrés dans la figure 1, qui montre en pointillé les espérances des facteurs de Lorentz γ_1 et γ_2 correspondant aux chocs centraux N-N et N-2 N respectivement, en fonction de γ_0. De même que pour les jets de classe B, la concordance avec l'expérience est satisfaisante. D'autre part, la charge moyenne des noyaux primaires et cibles des jets de classe C étant plus élevée que pour ceux de classe B (tableau I), l'abondance des chocs centraux s'explique

aisément. De même, il est remarquable que les jets de classe C sont absents aux hautes énergies ($\gamma_0 > 100$), ce qui pourrait être expliqué par un décroissement avec l'énergie primaire de la section efficace des chocs centraux.

Les 22 jets restants (classe A) peuvent être décrits par une courbe de Gauss unique de dispersion voisine à 0,36, correspondant à l'isotropie dans le centre de masse. La charge moyenne des noyaux primaires et cibles est la même que pour la classe B, mais la multiplicité des mésons produits est deux fois moindre. Ceci suggère qu'au moins pour une partie de ces jets, seulement une des deux collisions N-π a lieu. En outre, un bon nombre

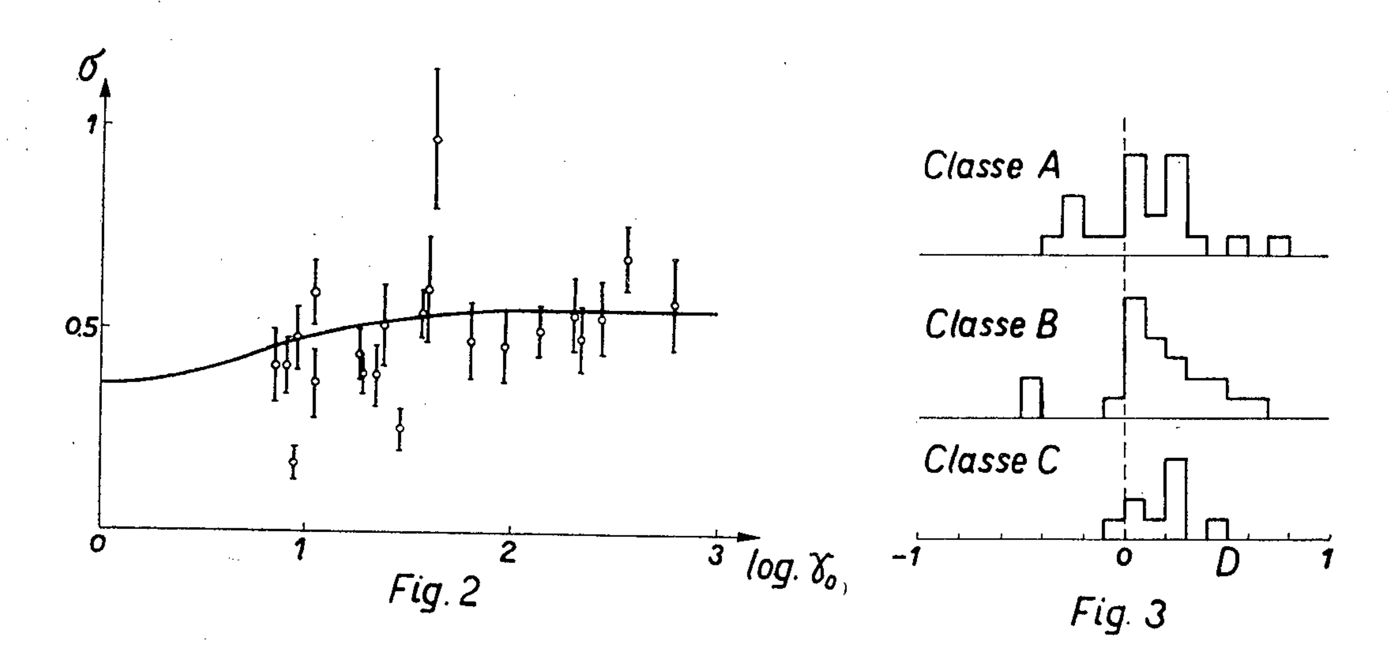


Fig. 2

Fig. 3

de jets à deux centres mais à énergie plus basse doit avoir (3) une faible valeur de $\bar{\gamma}$ et donc une anisotropie insignifiante. La discrépance des valeurs calculée et observée de σ pour cette classe prouve aussi qu'il s'agit ici d'un mélange de différents types de collisions.

Nous croyons donc pouvoir conclure que dans tout le domaine de 30 à 600 GeV, les interactions directes avec des pions du nuage mésonique des nucléons participant à des chocs noyau-noyau, jouent un rôle essentiel dans la génération multiple des mésons.

Les noyaux cosmiques primaires lourds pourraient devenir de ce fait un instrument efficace dans l'étude de la structure du nucléon.

(*) Séance du 17 août 1960.

(1) E. M. Friedländer, *Nuovo Cimento*, 14, 1959, p. 796.

(2) E. M. Friedländer, M. Marco et M. Spîrchez, sous presse et Preprint IFA EM 39, 1960.

(3) E. M. Friedländer, sous presse et Preprint IFA EM 38, 1960.

(4) P. Ciok, J. Coghen, J. Gierula, R. Holynsky, A. Jurak, M. Mięsowicz, T. Saniewska et J. Pernegr, *Nuovo Cimento*, 10, 1958, p. 741.

(5) G. Cocconi, *Phys. Rev.*, 111, 1958, p. 1699.

(6) E. M. Friedländer, *Nuovo Cimento*, 12, 1959, p. 483.

(7) P. Jain, E. Lohrmann et M. Teucher, *Phys. Rev.*, 115, 1959, p. 643.

(8) J. Gierula, M. Mięsowicz et P. Zielinsky, Preprint, 1960.

(*Laboratoire de Rayons cosmiques, Institut de Physique atomique, Bucarest.*)

RÉSONANCE MAGNÉTIQUE. — *Étude de la relaxation d'un ion paramagnétique, au moyen de la polarisation dynamique.* Note (*) de MM. **André Landesman** et **Anatole Abragam**, transmise par M. Francis Perrin.

La polarisation dynamique des protons d'une solution aqueuse de l'ion paramagnétique $NO(SO_3)_2^{--}$, produite par un champ de radiofréquence parallèle au champ statique, permet de déterminer sans ambiguïté le processus de relaxation du spin électronique.

On étudie la relaxation de l'ion paramagnétique nitrosodisulfonate $NO(SO_3)_2^{--}$ en solution dans l'eau. Dans cet ion le spin électronique S est couplé au spin K de l'azote et en présence d'un champ magnétique statique H_0 les six niveaux d'énergie de l'ion sont les valeurs propres de l'hamiltonien

$$\mathcal{H}_0 = -\hbar H_0(\gamma_S S_Z + \gamma_K K_Z) + A\vec{K}.\vec{S}$$

où γ_S et γ_K sont les rapports gyromagnétiques de l'électron et de l'azote. En solution, par suite de la rotation rapide de l'ion, on n'observe que la valeur moyenne $A\vec{K}.\vec{S}$ de l'interaction hyperfine entre les deux spins, dont la valeur instantanée s'écrit $A\vec{K}.\vec{S} + \vec{K}\mathcal{A}_1\vec{S}$ avec $\mathrm{Tr}\,\vec{K}\mathcal{A}_1\vec{S} = 0$.

Deux mécanismes de relaxation ont été envisagés :

1° l'interaction hyperfine anisotrope $\vec{K}\mathcal{A}_1\vec{S}$;

2° le couplage direct du spin électronique avec le réseau, causé par exemple par le couplage spin-orbite de l'ion.

Si l'on sature une fréquence de résonance de l'ion paramagnétique, la polarisation dynamique $\langle I_Z \rangle$ des protons I de l'eau est donnée par [1]

$$\langle I_Z \rangle = I_0 - \frac{1}{2} f [\langle S_Z \rangle - S_0],$$

où $\langle S_Z \rangle$ est la polarisation du spin électronique; I_0 et S_0 sont les polarisations à l'équilibre thermique. Le coefficient de fuite f dépend de la concentration de la solution en nitrosodisulfonate. On montre [2] que si l'on sature avec un champ de radiofréquence $\vec{H}_1$ perpendiculaire au champ $\vec{H}_0$ une transition $|\Delta F_Z| = 1$ de l'ion ($F_Z = S_Z + K_Z$), la polarisation électronique $\langle S_Z \rangle$ et, par conséquent, l'augmentation $\langle I_Z \rangle / I_0$ du signal de résonance magnétique des protons, dépend du mécanisme de relaxation de l'ion paramagnétique. L'étude de la polarisation dynamique nous renseigne donc sur ce mécanisme.

En champ bas, les transitions $\Delta F_Z = 0$ de l'ion sont permises et peuvent être induites par un champ $\vec{H}_1$ parallèle à $\vec{H}_0$.

Si la relaxation est purement électronique (hypothèse 2) et si l'on sature

une transition $\Delta F_Z = 0$ de cet ion, on va démontrer qu'il n'y a pas d'effet de polarisation dynamique.

On montre [3] que l'évolution de la matrice densité σ du système des spins est donnée en absence de radiofréquence par l'équation pilote

$$\frac{d\sigma}{dt} = -i[\mathcal{H}_0, \sigma] - \tau_c \overline{[\mathcal{H}_R, [\mathcal{H}_0, \sigma - \sigma_0]]},$$

où σ_0 est la matrice densité à l'équilibre thermique, où l'hamiltonien $\mathcal{H}_R = -\gamma_S \hbar \overrightarrow{H'(t)}.\vec{S}$ représente la relaxation [2], où τ_c est le temps de corrélation du champ magnétique fluctuant $\overrightarrow{H'(t)}$ produit par le réseau. L'évolution de la valeur moyenne de F_Z :

$$\langle F_Z \rangle = \mathrm{Tr}\, \sigma F_Z$$

est alors donnée par

$$-\frac{d}{dt}\langle F_Z \rangle = i\,\mathrm{Tr}\{\sigma[F_Z, \mathcal{H}_0]\} + \tau_c \mathrm{Tr}\{(\sigma - \sigma_0)\overline{[\mathcal{H}_R, [\mathcal{H}_R, F_Z]]}\}.$$

Comme $[F_Z, \mathcal{H}_0] = 0$ et $[\mathcal{H}_R, K_Z] = 0$ on a

$$-\frac{d}{dt}\langle F_Z \rangle = \tau_c \mathrm{Tr}\{(\sigma - \sigma_0)\overline{[\mathcal{H}_R, [\mathcal{H}_R, S_Z]]}\} = R(\langle S_Z \rangle - S_0),$$

où R est une constante qui dépend des caractéristiques du champ fluctuant $\overrightarrow{H'(t)}$.

Si par un champ de radiofréquence on induit une transition de probabilité V entre deux niveaux i et j, l'équation d'évolution de $\langle F_Z \rangle$ devient

$$-\frac{d}{dt}\langle F_Z \rangle = R(\langle S_Z \rangle - S_0) + V(n_i - n_j)[\langle i | F_Z | i \rangle - \langle j | F_Z | j \rangle],$$

$n_i = \langle i | \sigma | i \rangle$ est la population du niveau i.

A l'état de régime permanent $d/dt \langle F_Z \rangle = 0$; si l'on excite une transition $\Delta F_Z = 0$ ($\langle i | F_Z | i \rangle = \langle j | F_Z | j \rangle$) on voit que $\langle S_Z \rangle = S_0$ et donc que $\langle I_Z \rangle = I_0$.

Expérience. — Nous avons fait une expérience de polarisation dynamique dans un champ de 29 gauss en saturant la transition $\Delta F_Z = 0$ entre les deux niveaux $F_Z = 1/2$ de l'ion $NO(SO_3)_2^{--}$ avec un champ de radiofréquence approximativement parallèle au champ statique, à 112,8 MHz. La solution était préalablement désoxygénée. Au voisinage de la concentration utilisée ($4{,}73 . 10^{-3}$ M) la largeur de raie électronique est indépendante de la concentration.

Nous avons observé une augmentation du signal de proton

$$\frac{\langle I_Z \rangle}{I_0} = -10,$$

alors que, pour la concentration et la transition employées, le calcul donne $\langle I_z \rangle / I_0 = -88$ dans l'hypothèse 1 et $\langle I_z \rangle / I_0 = +1$ dans l'hypothèse 2. Ce résultat s'explique si la contribution de l'interaction hyperfine anisotrope à la relaxation est faible. On peut évaluer la contribution de ce mode de relaxation à la largeur de raie à environ 1 %.

Ces résultats sont en accord avec nos expériences précédentes et nous conduisent à admettre soit que le temps de corrélation du mouvement de l'ion en solution est de l'ordre de 10^{-12} s, soit que la partie anisotrope de l'interaction hyperfine dans l'ion en solution est inférieure à ce qu'elle est dans un cristal (4).

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) A. Abragam, J. Combrisson et I. Solomon, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 157.

(2) A. Landesman, *J. Phys. Rad.*, 20, 1959, p. 937.

(3) A. Abragam, *The principles of Nuclear Magnetism* (sous presse), chap. VIII.

(4) S. I. Weissman, T. R. Tuttle et E. de Boer, *J. Phys. Chem.*, 61, 1956, p. 28.

RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE. — *Interactions indirectes de spins en champ faible dans l'acide phosphoreux.* Note (*) de M. **Ange Erbeia**, transmise par M. Louis Néel.

Dans une Note précédente ([1]), il n'a pas été possible de donner une interprétation quantitative rigoureuse des interactions indirectes en champ faible en raison de la structure non résolue des raies du doublet de ^{19}F et d'une superposition partielle de la raie $^{19}F_-$ avec une résonance protonique (croisement de fréquences).

L'étude d'un cas plus simple, interaction indirecte entre ^{31}P et ^{1}H directement liés dans la molécule H—P(=O)(OH)(OH), doit permettre une interprétation rigoureuse de la position et de l'amplitude des termes du multiplet observés en fonction de la constante d'interaction indirecte J et des fréquences de Larmor des deux noyaux.

Théorie. — Banerjee, Das et Saha ([2]) ont développé la théorie des effets du déplacement chimique δ et des interactions indirectes J dans le cas de noyaux de même espèce, de spin 1/2, chimiquement non équivalents. Nous utiliserons les résultats de ces calculs pour le cas de deux noyaux d'espèce différente ^{31}P et ^{1}H, le déplacement chimique $\delta\,[=\gamma\,(h_A - h_B)]$ devient ici :

$$\delta = H_0(\gamma_A - \gamma_B),$$

expression dans laquelle H_0 est le champ appliqué, γ_A le rapport gyromagnétique du noyau A (^{31}P), γ_B celui du noyau B (^{1}H).

Les valeurs discrètes de l'énergie sont les suivantes; dans le cas général où $\delta \sim J$:

$$E_1 = -\frac{1}{2}\hbar\left(2\omega + \frac{1}{2}J\right),$$

$$E_2 = \frac{1}{2}\hbar\left(2\omega - \frac{1}{2}J\right),$$

$$E_3 = \frac{1}{2}\hbar\left(\frac{1}{2}J - Z\right),$$

$$E_4 = \frac{1}{2}\hbar\left(\frac{1}{2}J + Z\right),$$

dans ces expressions :

$$Z = \sqrt{\delta^2 + J^2} \qquad \text{et} \qquad \omega = H_0\,\frac{\gamma_A + \gamma_B}{2}.$$

Position des raies. — Dans la région des champs élevés $\delta \gg J$, nous obtenons deux doublets représentés sur la figure 1 *a* ([3]), ([4]).

Dans les champs plus faibles ($J \sim \delta$) les valeurs des fréquences correspondant au doublet du noyau B sont (*fig.* 1 *b*) :

$$E_2 - E_3 = \frac{1}{2}\hbar\left(2\omega + \frac{Z}{2} - \frac{J}{2}\right) \rightarrow \omega_{23} \rightarrow (H_+),$$

$$E_4 - E_1 = \frac{1}{2}\hbar\left(2\omega + \frac{Z}{2} + \frac{J}{2}\right) \rightarrow \omega_{41} \rightarrow (H_-).$$

Dans cette expression nous voyons que l'écart entre les raies du doublet est toujours égal à J. L'expérience montre un accord complet avec les valeurs de J trouvées en champ élevé.

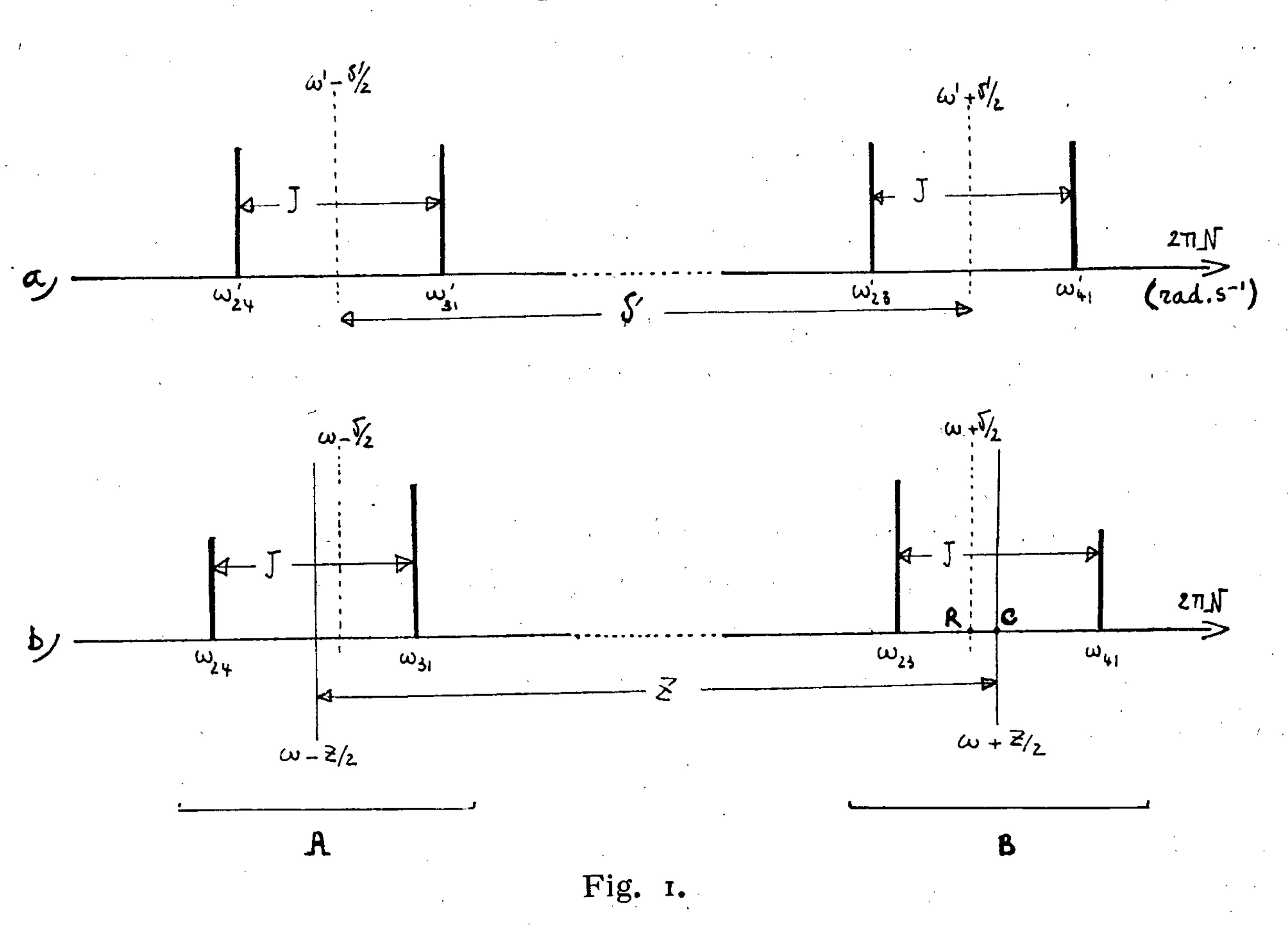


Fig. 1.

D'autre part, nous remarquons que le centre de symétrie C du doublet considéré (*fig.* 2) ne coïncide plus avec la résonance R des protons qui n'ont pas d'interaction (par exemple les protons de l'eau de dissolution). En effet, le centre de symétrie se situe pour le noyau B à la fréquence $\omega + 1/2\,(\delta^2 + J^2)^{1/2}$ et l'écart RC vaut en première approximation $1/2\,(J^2/\delta^2)$.

Pour le doublet de ^1H, à 6 kHz ($J/J/= 0{,}19$) la valeur théorique de l'écart est : 33,5 Hz; la valeur expérimentale : 34 ± 1 Hz. Le doublet est déplacé vers les champs faibles conformément à la théorie.

Intensité relative des raies. — Dans chaque doublet, le rapport des amplitudes est fonction de J/δ. Par exemple, pour le proton à champ constant :

$$\frac{A(H_+)}{A(H_-)} = \frac{1 + \dfrac{J}{\sqrt{\delta^2 + J^2}}}{1 - \dfrac{J}{\sqrt{\delta^2 + J^2}}} > 1$$

A notre fréquence de travail 6 kHz ($J/\delta = 0,19$), la dissymétrie théorique est $A(H_+)/A(H_-) = 1,5$.

Pour comparer cette valeur à l'expérience, il faut tenir compte des polarisations différentes pour H_+ et H_-, puisqu'on travaille à fréquence

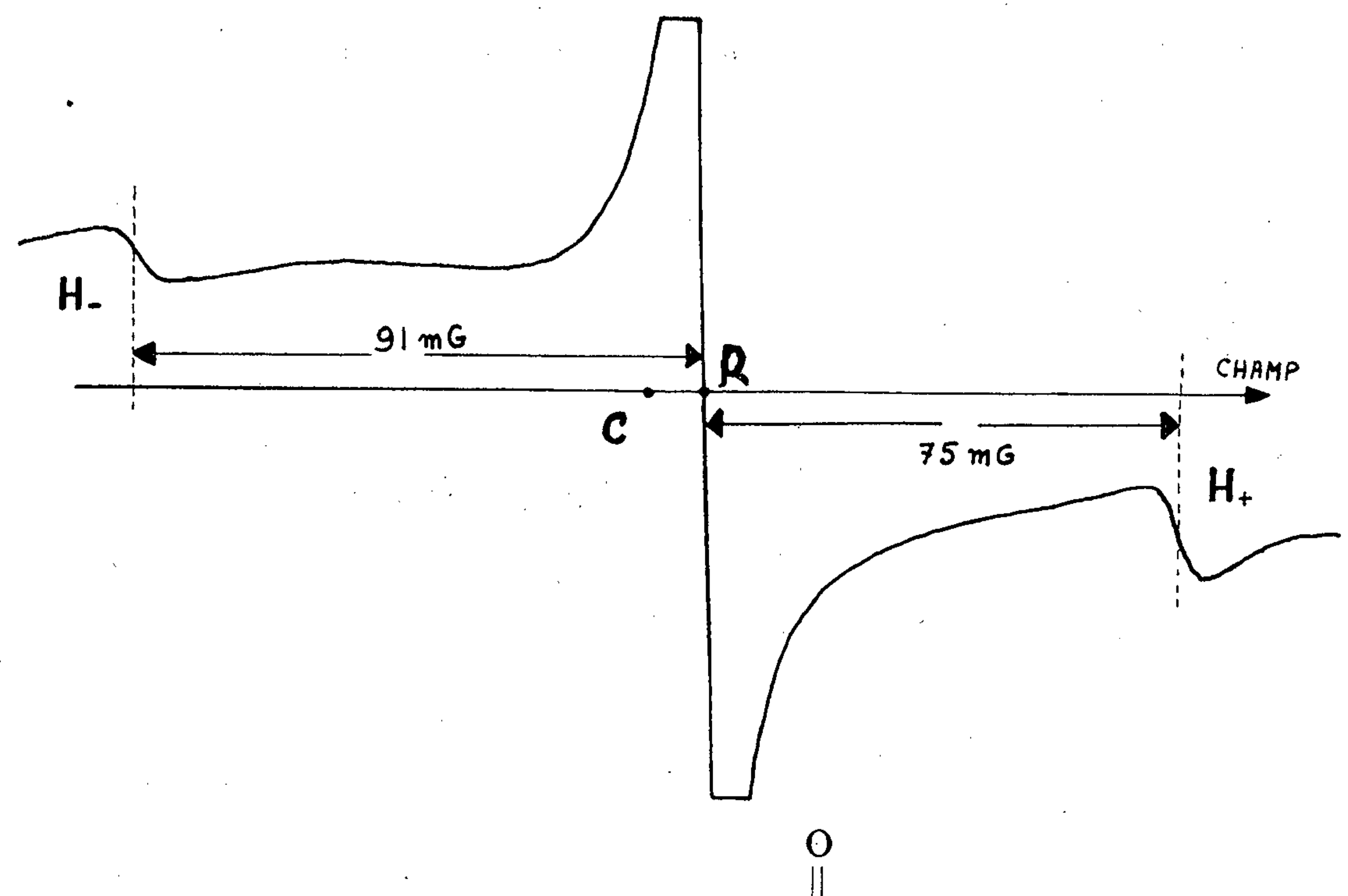


Fig. 2. — Résonances protoniques de H—P(=O)(—OH)—OH en solution dans l'eau.

H_+ et H_-, doublets de ^1H directement lié à ^{31}P;
raie centrale : ^1H provenant des groupements OH et de l'eau de dissolution.

constante. Cette polarisation augmente la dissymétrie des signaux de 10 %, le rapport calculé des deux signaux est donc égal à 1,65.

Sur une série de six enregistrements le rapport des signaux de dispersion donne une valeur moyenne :

$$\frac{A(H_+)}{A(H_-)} = 1,65 \pm 0,05.$$

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) A. ERBEIA et G. BENE, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3467.

(2) M. K. BANERJEE, T. P. DAS et A. K. SAHA, *Proc. Roy. Soc.*, 226, 1954, p. 490.

(3) H. S. GUTOWSKY, D. W. MC CALL et C. P. SLICHTER, *J. Chem. Phys.*, 21, 1953, p. 279.

(4) D. ROUX, *Thèse* (*H. P. A.*, 31, 1958, p. 511).

(*Laboratoire de Spectroscopie hertzienne, Institut de Physique, Genève.*)

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE. — *Dépolarisation de mésons μ^- dans des émulsions Nikfi placées dans un champ magnétique de* 10^4 Oe. Note (*) de
MM. **Ileana Adreescu**, **Tatiana Angelescu**, **Calin Besliu**, **Virginia Codiță**, **Nicolae Martalogu**, **Victoria Pîrvu** et **Nicolae Gheordănescu**, transmise par M. Horia Hulubei.

On explique la dépolarisation de mésons μ^-, par les effets dus à la formation du mésoatome.

Smushkevici et Drjbashian ([1]), ([2]) considérant la structure fine comme

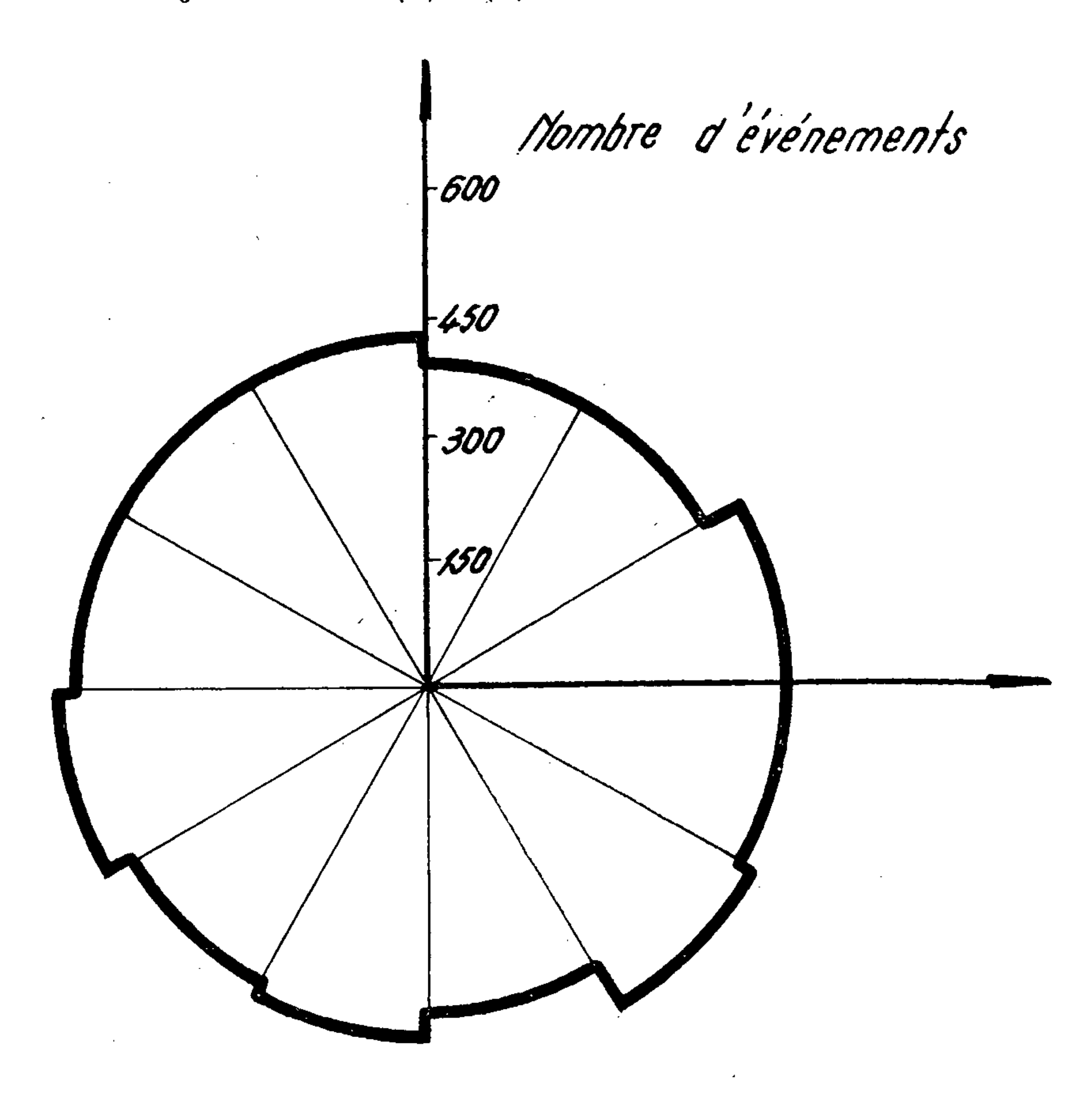


Fig. 1.

facteur dépolarisant, trouvent une polarisation résiduelle de 17 % pour les noyaux avec I = 0.

Uberall ([3]) calcule une dépolarisation deux ou trois fois plus large en ajoutant les effets dus à la structure hyperfine du mésoatome.

Rose ([4]) introduit un nouveau facteur dépolarisant dû au couplage magnétique du méson μ^- avec les électrons du mésoatome, facteur qui pourrait déterminer une dépolarisation de 66 %.

Nous avons mesuré des coefficients de dépolarisation du méson μ^- à l'aide de deux émulsions nucléaires et sous l'action de deux champs magnétiques; un champ de 150 Oe, capable surtout d'annuler les effets parasites et un

autre de 10^4 Oe, destiné à rompre un des couplages magnétiques et à refaire ainsi partiellement la polarisation du méson μ^-.

Dans ce but nous avons étudié la distribution angulaire des électrons résultés des désintégrations $\mu^- \to e^- + \nu + \tilde{\nu}$ dans des émulsions nucléaires irradiées au faisceau μ^- du synchrocyclotron de 680 MeV de Dubno. Les figures 1 et 2 contiennent les 5 400 et 6 000 événements relatifs aux champs magnétiques de 150 Oe et de 10^4 Oe. On a éliminé les électrons Auger. Les coefficients d'asymétrie trouvés sont :

$$a_- = -(0,025 \pm 0,028) \quad \text{pour} \quad H = 150 \text{ Oe}.$$
$$a_- = -(0,11 \pm 0,028) \quad \text{pour} \quad H = 10^4 \text{ Oe}.$$

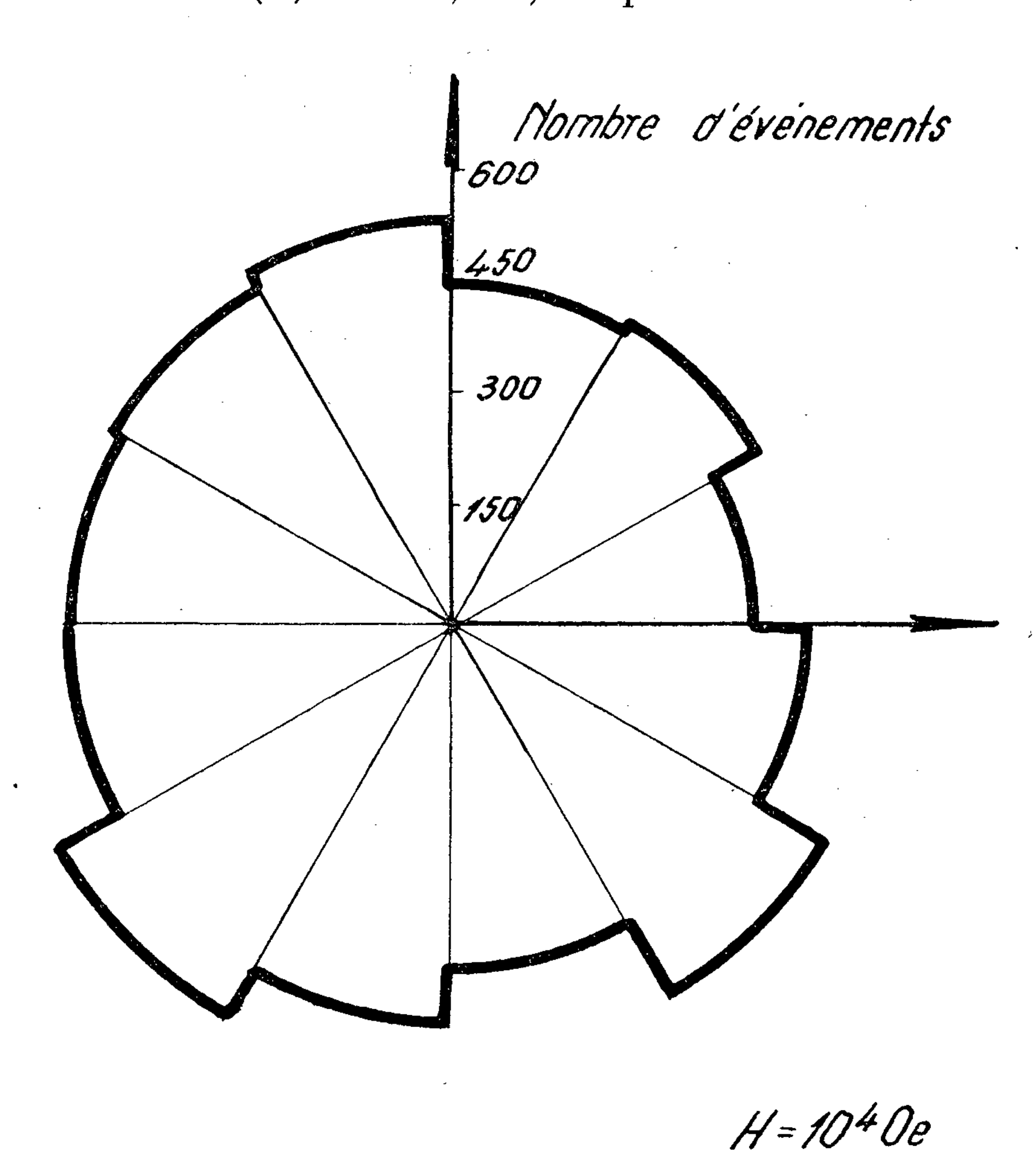


Fig. 2.

Ces coefficients nous conduisent, pour la polarisation du méson μ^- avant la désintégration, aux valeurs

$$(1) \qquad \begin{cases} P_- = 0,08 \pm 0,13 & \text{pour} \quad H = 150 \text{ Oe}. \\ P_- = 0,38 \pm 0,13 & \text{pour} \quad H = 10^4 \text{ Oe}. \end{cases}$$

La comparaison de ces valeurs avec celles indiquées dans la littérature nous conduit aux conclusions suivantes :

1° En absence de champ magnétique la dépolarisation des mésons μ^- est presque complète, résultat en accord avec celui trouvé par Ignatenco [5].

2° Dans un champ magnétique de 10^4 Oe on trouve une polarisation résiduelle de 38 %, ce qui indiquerait la destruction d'un des couplages

magnétiques. Le coefficient moyen $\overline{P}$ de polarisation calculé pour l'émulsion Nikfi est :

$$(2) \quad \begin{cases} \overline{P}^{-} = 0{,}12 & \text{utilisant les résultats de Smushkevici et Drjbashian } (^2), (^3), (^4) \\ \overline{P}_{-} = 0{,}34 & \text{avec les résultats de Uberall, Rose } (^4), (^5). \end{cases}$$

La comparaison des valeurs (2) et (1) semble confirmer l'hypothèse de Rose.

Ce résultat indiquerait l'existence d'un couplage du méson μ^- avec les électrons du mésoatome, couplage qui peut être détruit par un champ magnétique d'environ 10^4 Oe.

(*) Séance du 12 septembre 1960.

(1) I. M. Smushkevici, *Nucl. Phys.*, 11, nº 2, 1959.
(2) Drjbashian, *J. E. T. F.*, 35, 1958, p. 307.
(3) H. Uberall, *Phys. Rev.*, 114, 1959, p. 6.
(4) M. E. Rose, *Preprint O. R. N. L.*, 1958.
(5) Ignatenco, Communication privée (Dubno, 1959).

(*Laboratoires de Physique nucléaire, Université de Bucarest.*)

CHIMIE PHYSIQUE. — *Étude des chaleurs de précipitation des eutectiques à 11,3 % atomique de silicium dans le système aluminium-silicium et à 17,3 % atomique de cuivre dans le système aluminium-cuivre.* Note (*) de M. **Marc Génot**, présentée par M. Georges Chaudron.

Le diagramme Al-Si ([1]) présente un point eutectique pour une teneur de 11,3 % en silicium et une température de 577° C. Sur le diagramme Al-Cu ([2]) on voit que pour un tenseur de 17,3 % en cuivre et la température de 548° C il cristallise un eutectique mélange d'aluminium et de phase θ, cette dernière étant presque identique au composé Al_2Cu pur.

Nous avons déterminé expérimentalement la chaleur de fusion de ces deux eutectiques et nous en avons rapproché la valeur qu'on peut obtenir par une étude du diagramme.

Nous avons utilisé le principe original de calorimétrie mis au point par Oelsen ([3]) qui consiste au cours du refroidissement d'un échantillon dans un calorimètre à enregistrer simultanément la température de l'échantillon et celle du liquide calorimétrique (le plus souvent de l'eau).

Les échantillons d'eutectique Al-Si ont été préparés à partir d'un d'alliage Al-Si à 13 % de silicium par addition d'aluminium 99,9. L'analyse a donné une teneur moyenne en silicium de 11,4 %, soit sensiblement la composition eutectique.

Les échantillons d'eutectique Al-Cu préparés à partir d'aluminium 99,9 et de cuivre électrolytique, ont donné à l'analyse un titre moyen en cuivre de 17,3 % soit la composition eutectique.

L'échantillon d'eutectique Al-Si contenu dans un tube en silice fondue est porté préalablement à 900° (pour l'eutectique Al-Cu le tube est en pyrex et la température est 680° C). Il est ensuite introduit dans une enceinte en cuivre chromé, garnie de laine de silice, qui est entièrement immergée dans l'eau du calorimètre; un petit tube métallique qui assure le passage d'un thermocouple et d'une amenée d'argon émerge seul de l'eau. La gaîne du thermocouple assure l'agitation du métal quand celui-ci est liquide.

La température de l'eau est mesurée par un thermomètre à résistance de nickel (100 Ω). Cette résistance est placée dans un pont de Wheatstone dont elle provoque le déséquilibre quand sa valeur augmente avec la température de l'eau; on obtient dans la branche galvanométrique du pont une force électromotrice proportionnelle à la variation de température. Cette force électromotrice est directement enregistrée en fonction de la température de l'échantillon sur un enregistreur xy.

Ces expériences permettent d'obtenir des courbes dont la forme est analogue aux courbes classiques d'analyse thermique mais où la coordonnée temps est remplacée par la température de l'eau dont la variation est

proportionnelle à la variation d'enthalpie de l'échantillon. La longueur du palier eutectique dans ces conditions, multipliée par un facteur convenable, permet d'obtenir la chaleur de fusion eutectique. Dans nos conditions opératoires, nous avions pour Al-Si :

$$L\,\text{cal/g} = \frac{l}{574\,\text{PE}},$$

L est la chaleur de fusion eutectique en calories par gramme;
l est la longueur du palier eutectique en centimètres;
P est le poids de l'échantillon en grammes;
E est la force électromotrice en volts de l'accumulateur alimentant le pont de Wheatstone.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

l (cm)	22	21,7	26,4	26,1	25,5	26,5
P (g)	47,4	49,3	56,5	56,5	57,5	58,8
E (volts)	2,10	2,10	2,11	2,11	2,09	2,11
L (cal/g)	127	120	127	126	122	122

Nous en déduisons pour l'eutectique Al-Si :

$$L = 124 \pm 2,5\ \text{cal/g}.$$

Pour Al-Cu sur sept expériences, nous obtenons de même pour la chaleur de fusion eutectique :

$$L = 85 \pm 1,5\ \text{cal/g}$$

Nous utilisons la méthode développée dans une précédente Note par R. Hagège ([4]) pour déterminer ces valeurs à partir du diagramme.

Dans le système binaire Al-Si nous supposons la solution liquide de titre eutectique régulière par rapport à l'aluminium et les solutions solides strictement régulières.

A partir des données thermodynamiques que nous possédons ([5]), ([6]), nous trouvons pour la chaleur de dissolution eutectique de l'aluminium :

$$\lambda_{Al} = 2\,465\ \text{cal/mole}.$$

Nous en déduisons par la méthode des pentes à l'eutectique ([3]) en utilisant le diagramme ([1]), la chaleur de dissolution eutectique du silicium :

$$\lambda_{Si} = 11\,150\ \text{cal/mole}.$$

La combinaison de ces deux valeurs donne pour la chaleur de fusion eutectique :

$$L = 123,3\ \text{cal/g}.$$

Dans le système binaire Al-Cu nous supposons la phase θ équivalente au corps Al_2Cu stœchiométrique pur et les solutions solides strictement

régulières. Par la même méthode nous obtenons pour la chaleur de fusion eutectique :

$$L = 89,5 \text{ cal/g}.$$

L'imprécision sur ces nombres obtenus à partir du diagramme est assez grande et peut être évaluée à 5 %. Compte tenu des précisions respectives ces valeurs concordent bien avec les valeurs expérimentales respectivement :

$$124 \pm 2,5 \quad \text{et} \quad 85 \pm 1,5 \text{ cal/g}$$

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) H. W. L. PHILIPS, *The equilibrium diagram of the system aluminium-silicon*, The Institute of Metals.

(2) G. V. RAYNOR, *The equilibrium diagram of the system aluminium-copper*, The Institute of Metals.

(3) W. OELSEN, E. SCHÜRMANE, G. HEYNERT, *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 26, n° 1, 1955, p. 19 à 42.

(4) R. HAGEGE, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 956.

(5) O. KUBACHEWSKI et E. EVANS, *Metallurgical Thermochemistry*, Pergamon Press, 1956, tables B et C.

(6) O. KUBASCHEWSKI et J. A. CATTERALL, *Thermochemical Data of Alloys*, Pergamon Press, 1956.

ÉLECTROCHIMIE. — *Sur une nouvelle méthode de mesure directe du volume d'hydrogène introduit dans les cathodes métalliques au cours du chargement électrolytique.* Note (*) de M. **Ahmad Banège-Nia**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Pour étudier la pénétration de l'hydrogène dans les métaux [1] si l'on s'intéresse à la mesure du volume du gaz occlus, le procédé le plus rapide consiste à introduire l'hydrogène par électrolyse et le doser ensuite en dégazant l'échantillon dans des conditions convenables. Le dégazage est une opération longue et ne donne souvent qu'un ordre de grandeur du volume du gaz [2].

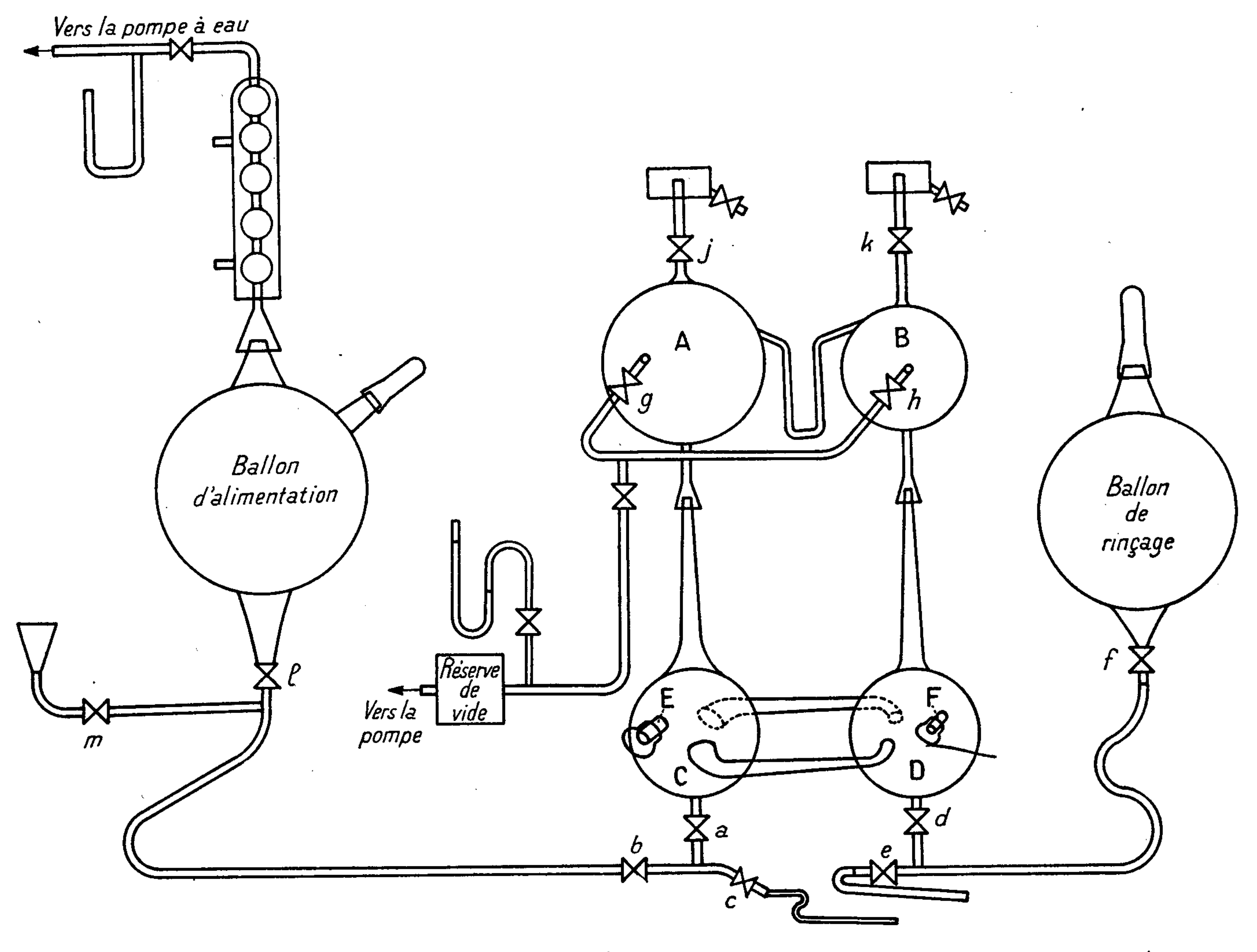


Fig. 1.

Nous avons conçu et mis au point un appareil, présenté schématiquement sur la figure 1, qui permet la mesure directe, pendant le chargement, du volume de l'hydrogène introduit dans une cathode au cours de l'électrolyse de l'acide sulfurique. Le volume de l'hydrogène dégagé, pendant l'électrolyse de l'acide sulfurique, est exactement double, s'il n'y a pas de pénétration dans la cathode, du volume de l'oxygène dégagé à l'anode (loi de Faraday); donc, si l'on récupère l'hydrogène et l'oxygène dans des

ballons de volume respectivement V et V/2 convenablement choisis et si les gaz sont insolubles dans l'acide, on ne doit remarquer aucune différence de pression Δp entre les deux ballons, inversement s'il y a une différence Δp, elle peut servir à mesurer le volume d'hydrogène introduit dans la cathode.

Dans notre appareil, réalisé en verre pyrex, les ballons de récupération A et B, de volume V et V/2, communiquent par des rodages sphériques à un manomètre différentiel dont le liquide manométrique est de

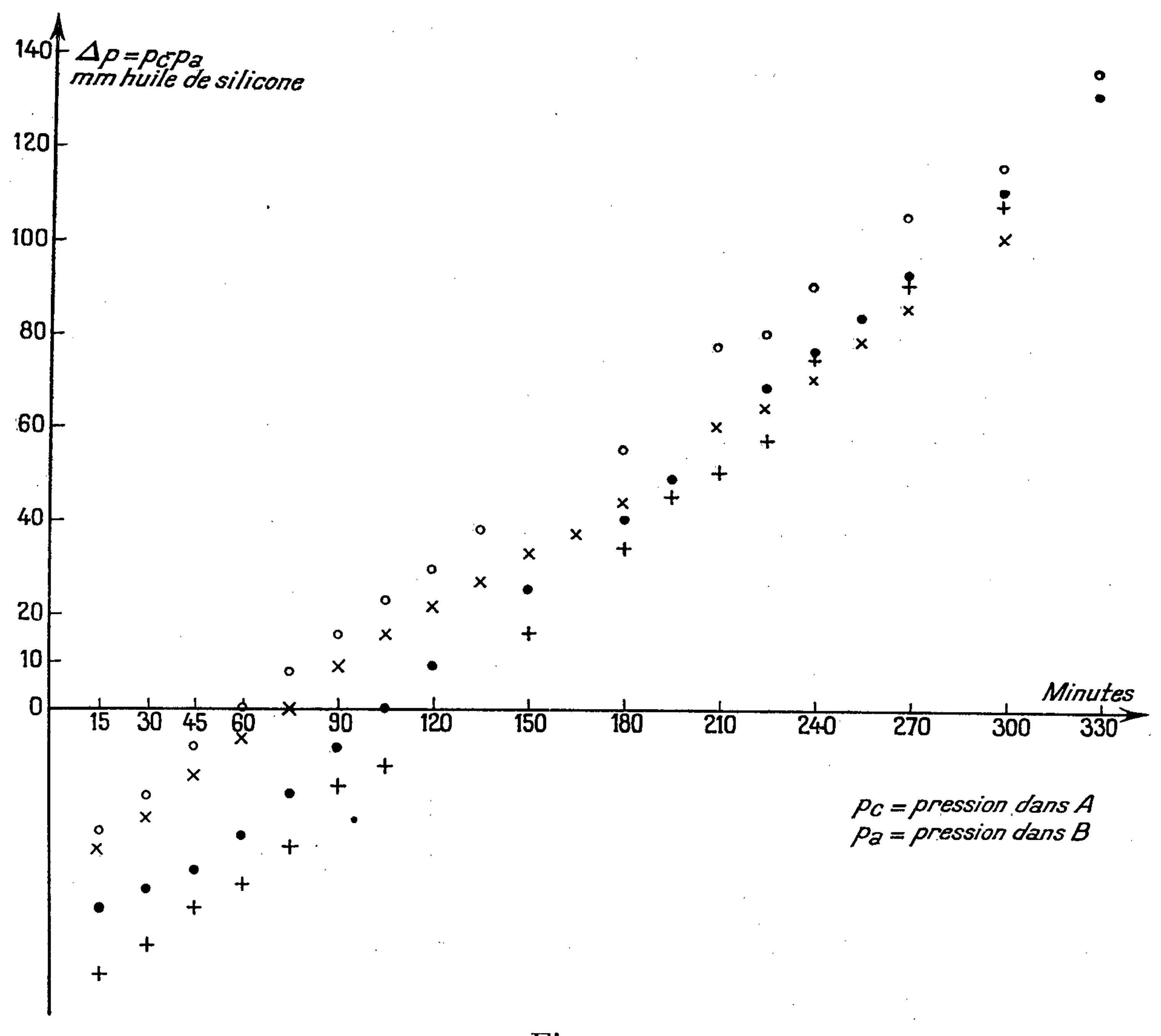


Fig. 2.

l'huile de silicone. Par le jeu des robinets *g* et *h* on peut : soit relier A et B au circuit de la pompe à vide pour dégazer l'appareil, soit les isoler l'un de l'autre. On peut ramener Δp à une valeur déterminée en agissant sur les robinets *j* ou *k* pour chasser le gaz et mesurer le volume du gaz ainsi chassé, en le recevant dans une éprouvette graduée remplie de mercure.

La cellule d'électrolyse, d'une capacité d'environ 2 l, est constituée par les compartiments cathodique C et anodique D, chacun muni d'un bouchon rodé et d'un crochet porte échantillon; deux passages en tungstène, dans les deux compartiments assurent les contacts électriques avec l'extérieur. Les compartiments C et D communiquent par deux bras, symétriques et légèrement inclinés sur le plan horizontal, afin que d'une part le champ

électrique soit assez uniforme au voisinage de la cathode et que d'autre part les gaz ne passent pas d'un compartiment à l'autre.

Les ballons A et B s'adaptent par des rodages sur les compartiments C et D. Les accessoires sont le ballon d'alimentation où l'acide est dégazé par ébullition sous pression réduite, un ballon de rinçage et des agitateurs magnétiques.

Pratiquement, l'appareil ne donne de résultats que s'il est préalablement étalonné, car, à la difficulté d'avoir A double de B, s'ajoute le fait que le coefficient de solubilité de l'hydrogène dans l'acide n'est pas égal à celui de l'oxygène et qu'une certaine quantité de gaz (faible) malgré les précautions prises, reste adsorbé sur les parois ou en suspension dans le liquide, etc. Nous avons étalonné l'appareil en prenant comme cathode un fil d'or [il n'absorbe pas l'hydrogène ([3])] et comme anode un fil de platine (l'oxygène ne diffuse pas à froid à travers le platine). Nous n'avons pas remarqué, dans le compartiment C, la formation d'hydrure d'or comme certains auteurs le prétendent. L'appareil a fonctionné pour chaque expérience, pendant 5 h sous 1 A, la pression initiale, dans les ballons, était de 25 mm Hg et la température était voisine de l'ambiante. A la fin de chaque expérience, on agitait les deux compartiments afin de chasser le mieux possible les gaz en absorption et en suspension.

Nous avons fait une douzaine d'essais : on a présenté sur la figure 2 le résultat de quelques-uns en y portant les limites extrêmes obtenues expérimentalement. On remarque qu'au bout d'un temps suffisant l'appareil se stabilise, l'instabilité au début de l'expérience n'est pas gênante, car le temps du chargement jusqu'à la saturation est de l'ordre de 5 h. Pour les temps longs, la dispersion entre les valeurs obtenues est de l'ordre de 15 mm d'huile de silicone : soit si l'on prend la moyenne comme courbe d'étalonnage, une précision en valeur absolue de $\pm$ 1,2 ml d'hydrogène. Par notre méthode qui est simple et directe, on obtient en chargeant les quantités suffisantes du métal, une précision relative très convenable.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

([1]) AHMAD BANEGE-NIA, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 524.

([2]) On trouve une bibliographie détaillée dans J. DUFLOT, *Publ. scient. et tech. Min. Air*, n° 265.

([3]) DONALD P. SMITH, *Hydrogen in metals*, the University of Chicago-Press.

(*Laboratoire de Physique-Enseignement, Sorbonne.*)

RADIOCHIMIE. — *Réactions d'addition initiées sous rayonnement; addition du tétrabromure de carbone sur les oléfines.* Note (*) de MM. **Guy Rabilloud** et **Philippe Traynard**, transmise par M. Louis Néel.

L'irradiation d'une solution diluée d'oléfine dans un mélange de CCl_4 et CBr_4 conduit à l'addition du tétrabromure de carbone sur la double liaison [1]. La vitesse d'addition étant fonction de la structure de l'alcène, nous avons essayé de comparer l'affinité de certaines oléfines vis-à-vis des radicaux libres créés dans le solvant. Pour cette étude douze composés originaux ont été préparés.

Les solutions d'hydrocarbures insaturés (1 à 5.10^{-2} moles dans 50 ml de solvant) ont été irradiées dans les conditions suivantes :

— source de ^{60}Co de 15 000 C (intensité de dose : 20 000 r/mn);

— atmosphère d'argon; température : $20 \pm 1°$ C;

— solvant : CBr_4 (0,195 M); CCl_4 (0,317 M).

La saturation de la double liaison a été suivie par spectrographie infrarouge dans la zone 880-920 cm^{-1} sur la bande de déformation du $= CH_2$ terminal [1] après étalonnage.

Influence de la concentration. — Nous limitant au domaine des faibles concentrations pour éviter les phénomènes de polymérisation, nous avons déterminé les vitesses de réaction V_1 et V_2 relatives à deux concentrations initiales ($1,5.10^{-2}$ et $5,5.10^{-2}$ mole/100 g). Ces vitesses ont été exprimées en pourcentage d'oléfines disparues et rapportées à la valeur correspondante pour l'hexène-1 prise comme unité.

TABLEAU I.

Oléfine.	V_1.	V_2.
Pentène-1	1,46	0,92
Hexène-1	1,0	1,0
Méthyl-4 pentène-1	1,07	0,78
Méthyl-2 pentène-1	3,46	3,18
Octène-1	1,05	0,87

Influence de la structure. — A la même concentration initiale de $5,5.10^{-2}$ mole d'oléfine dans 100 g de solution, nous avons mesuré les vitesses V_2 d'une quinzaine d'oléfines. Les résultats sont indiqués dans le tableau II. Nous avons noté quelques points intéressants :

— les oléfines méthylées en β par rapport à la double liaison, ont une vitesse supérieure à celle de l'alcène linéaire correspondant;

— dans la série allylique, l'activation de la double liaison par le substituant semblerait croître dans l'ordre $Cl < Br <$ phénoxy.

Outre les valeurs de V_2, nous avons rassemblé dans le tableau II :

— les constantes physiques de produits d'addition (température de distillation, indice de réfraction, densité);

— les résultats d'analyse (% C, % Br) comparés aux pourcentages théoriques.

TABLEAU II.

Oléfines.	V_2.	Constantes physiques. É(°C) P(*).	n_D^{21}.	d_4^{20}.	Analyse. % C (trouv. calc.).	% Br (trouv. calc.).
Chloro-3 propène-1....	0,36	81/14	1,6101	2,539	11,8-11,7	76,7-78,3
Bromo-3 propène-1....	0,59	82/13	1,6146	2,638	11,2-10,6	85,7-88-3
Phénoxy-3 propène-1...	0,68	107/17	1,6153	1,909	29,8-25,8	60,2-68,6
Chloro-3 méthyl-2 propène-1.............	0,50	84/13	1,6060	2,392	14,4-14,2	75,4-75,7
Pentène-1............	0,92	71/16	1,5704	2,179	18,2-17,9	79,1-79,5
Méthyl-2 butène-1.....	1,64	72/14	1,5848	2,212	18,4-17,9	79,7-79,5
Méthyl-2 butadiène-1.3.	0,57	86/16	1,6125	2,276	18,3-17,9	80,3-79,5
Hexène-1.............	1,00	83/17	1,5628	2,083	20,3-20,2	77,0-76,8
Méthyl-2 pentène-1....	3,18	78/14	1,5671	2,039	21,3-20,2	74,5-76-8
Méthyl-4 pentène-1....	0,92	80/14	1,5623	2,079	20,4-20,2	77,1-76,8
Heptène-1............	1,04	81/16	1,5542	1,976	22,5-22,6	74,3-74,3
Octène-1.............	0,87	90/16	1,5504	1,893	24,8-24,3	72,0-72,0
Styrène..............	0,08	101/15	1,6402	1,909	25,8-25,0	72,5-73,3

(*) P en millièmes de millimètre de mercure.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) G. RABILLOUD et PH. TRAYNARD, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 334.

(Laboratoire de l'Institut Français du Pétrole; Centre d'études nucléaires de Grenoble.)

MÉTALLOGRAPHIE. — *Nouveau carbure se formant dans la transformation d'aciers au carbone-silicium.* Note (*) de MM. **Jacques Pomey, Jean Deliry, Michel Wintenberger, Robert Lafont,** Mmes **Paule Lesage** et **Aase Diament,** présentée par M. Georges Chaudron.

Les aciers au carbone-silicium soumis à une transformation bainitique entre 350 et 450° donnent un nouveau carbure dont le point de Curie est vers 370°. La décomposition isotherme de l'austénite vers 400° s'effectue en deux étapes successives : dans la première la ferrite se développe pendant que l'austénite s'enrichit en carbone; dans la deuxième l'austénite restante se décompose en ferrite et ce nouveau carbure.

En 1954 dans un travail inédit, l'un de nous avait trouvé que la transformation bainitique de certains aciers contenant du silicium donne un carbure nouveau ayant un point de Curie vers 370° et qu'en plus cette transformation s'effectue en deux étapes.

Les aciers ayant de 0,2 à 1,4 % de carbone et de 1,5 à 4 % de silicium soumis à une transformation bainitique entre 350 et 450° conduisent à la formation de ce nouveau carbure. En règle générale, à température inférieure apparaît le carbure ε et au-dessus la cémentite. Les exemples illustrés se rapportent à un acier d'analyse : C = 1 %, Mn = 0,36 %, Si = 2,15 %, qui donne un phénomène bien caractérisé.

Cet acier ayant subi une transformation bainitique isotherme complète à 400° pendant 48 h a ensuite été soumis à un cycle thermomagnétique différentiel ([1]) qui montre (cycle 1, *fig.* 1) le point de Curie du nouveau carbure vers 370°. Sur la même figure nous avons représenté les courbes de refroidissement de cycles successifs en inscrivant la durée de maintien à la température maximale. Elles montrent la transformation progressive du nouveau carbure directement en cémentite de point de Curie 210°. Par dilatométrie on voit qu'au cours d'un chauffage à 300°/h, ce carbure se transforme spontanément entre 520 et 600° avec contraction en donnant de la cémentite (cycle 3, *fig.* 4) reconnaissable au refroidissement par son point de Curie.

Par ailleurs, pour des échantillons d'acier de teneurs en carbone échelonnées, l'amplitude de l'anomalie thermomagnétique du nouveau carbure, ainsi que l'amplitude de la contraction lors de sa transformation en cémentite croissent avec la teneur en carbone.

Nous avons suivi la cinétique de la transformation bainitique isotherme au moyen d'une balance magnétique ([2]). La figure 2 se rapporte à 400°; on voit les deux étapes successives qui sont rendues plus visibles sur la courbe dérivée. L'amplitude et la vitesse de la première étape de la transformation augmentent quand la teneur en carbone décroît. D'autre part, l'augmentation de teneur en silicium ralentit surtout l'évolution de la deuxième étape; celle-ci par exemple n'a pas débuté après 38 h à 400° dans un acier à 3,6 % de silicium.

Un échantillon de l'acier pris en exemple ayant subi la première étape

de transformation bainitique à 400° et refroidi à l'ambiante montre par micrographie (*fig.* 3) une structure formée de 40 % de plaquettes de bainite dans une matrice d'austénite (60 %); la dureté globale est de 235 kgf/mm² Vickers, du même ordre de grandeur que celle de l'austénite. Un refroidissement subséquent à — 80° ne donne aucun changement; mais un refroidissement à — 127° s'accompagne de la formation de 7 % de martensite aux dépens de l'austénite.

Un échantillon ayant subi la première étape, soumis à un cycle thermomagnétique jusqu'à 400° ne présente aucune anomalie magnétique, ce qui montre que les plaquettes de bainite ne contiennent ni cémentite, ni carbure χ. C'est dans la deuxième étape que se forme le nouveau carbure de point de Curie 370°. Après la première étape la teneur en carbone de l'austénite restante estimée tant d'après les masses des phases α et γ présentes que d'après la température de début de transformation martensitique, est de l'ordre de 1,80 %.

Un échantillon refroidi après la première étape a été étudié par thermodilatométrie différentielle (*fig.* 4). Un premier cycle jusqu'à 400° (1) présente une pente caractéristique d'une forte proportion d'austénite. Au cours du second cycle (2) jusqu'à 500° l'austénite se transforme, car au refroidissement le coefficient de dilatation est celui de la ferrite. La contraction observée provient de la formation du nouveau carbure et elle masque l'expansion provenant de la formation de ferrite. Le troisième cycle (3) montre la contraction caractéristique de la transformation du nouveau carbure en cémentite, car au refroidissement, l'anomalie de Curie de ce dernier est visible à 210°.

L'extraction électrolytique de ce nouveau carbure permet son identification par diffraction X qui donne (*fig.* 5) un diagramme nouveau (pouvant être indexé dans le système hexagonal : $a = 6{,}90$ Å, $c = 4{,}80$ Å) et par thermomagnétométrie. Dans ce dernier cas (*fig.* 6) nous avons effectué sept cycles successifs à températures maximales croissantes; un premier cycle à 500° montre le point de Curie à 370° du nouveau carbure. Un deuxième cycle à 550° montre au refroidissement le dédoublement à 370 et 255°, ce dernier montrant qu'il y a eu décomposition partielle en carbure χ. Le troisième cycle à 565° montre au refroidissement trois points : 370, 255 et 210°, ce qui indique la décomposition partielle de χ en cémentite. Le sixième cycle à 645° donne 255 et 210°, car le nouveau carbure est entièrement décomposé. On remarque que la décomposition du carbure extrait se fait avec passage par l'intermédiaire du carbure χ, alors qu'au contraire dans l'acier la transformation de celui-là se fait directement en cémentite.

(*) Séance du 26 septembre 1960.
(1) J. POMEY, *Rev. Métall.* 55, 1958, p. 627 et 725.
(2) J. POMEY, R. COUDRAY et J. MOULIN, *Rev. Métall.*, 48, 1951, p. 552.

(*Régie Nationale des Usines Renault.*)

PLANCHE I.

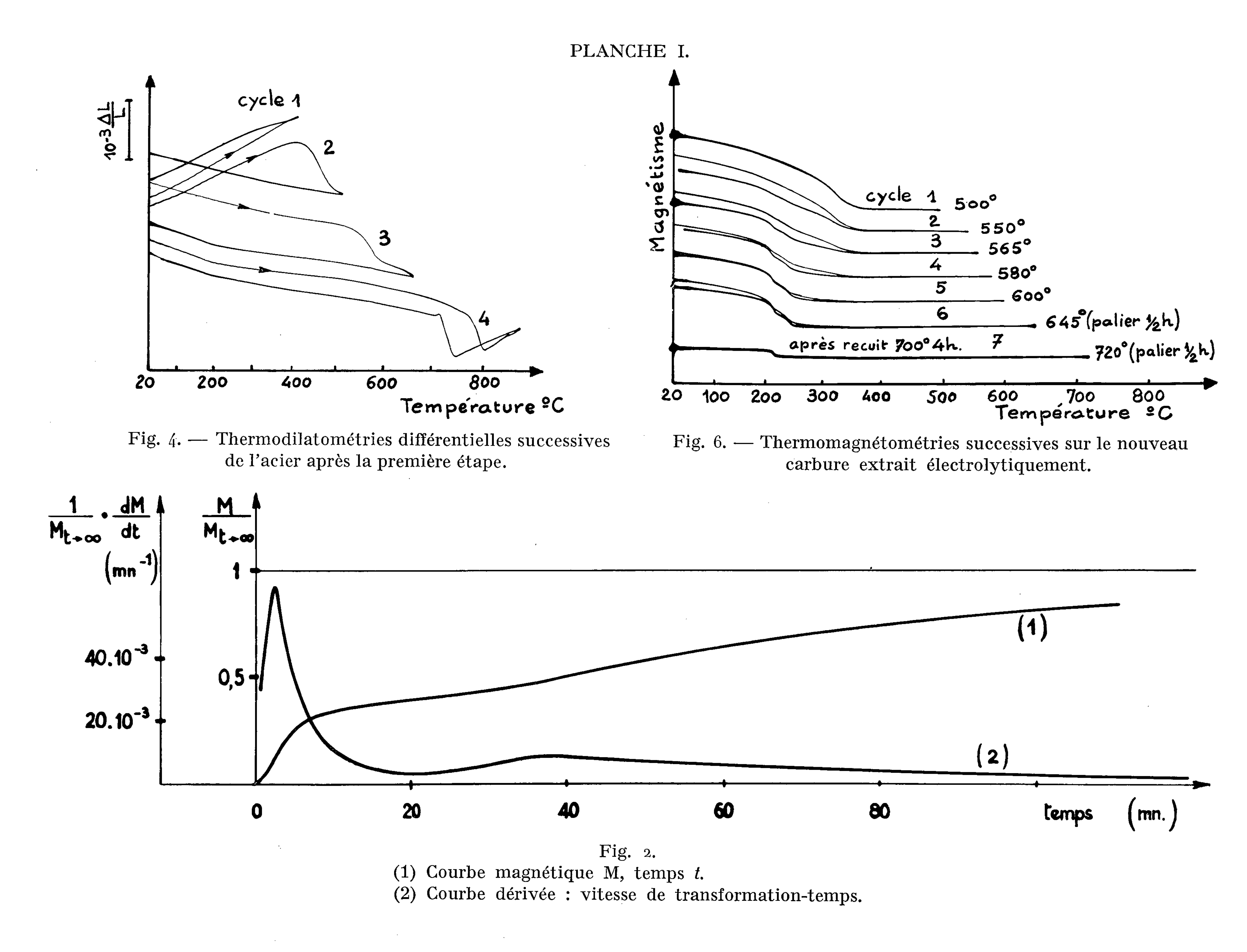


Fig. 4. — Thermodilatométries différentielles successives de l'acier après la première étape.

Fig. 6. — Thermomagnétométries successives sur le nouveau carbure extrait électrolytiquement.

Fig. 2.
(1) Courbe magnétique M, temps *t*.
(2) Courbe dérivée : vitesse de transformation-temps.

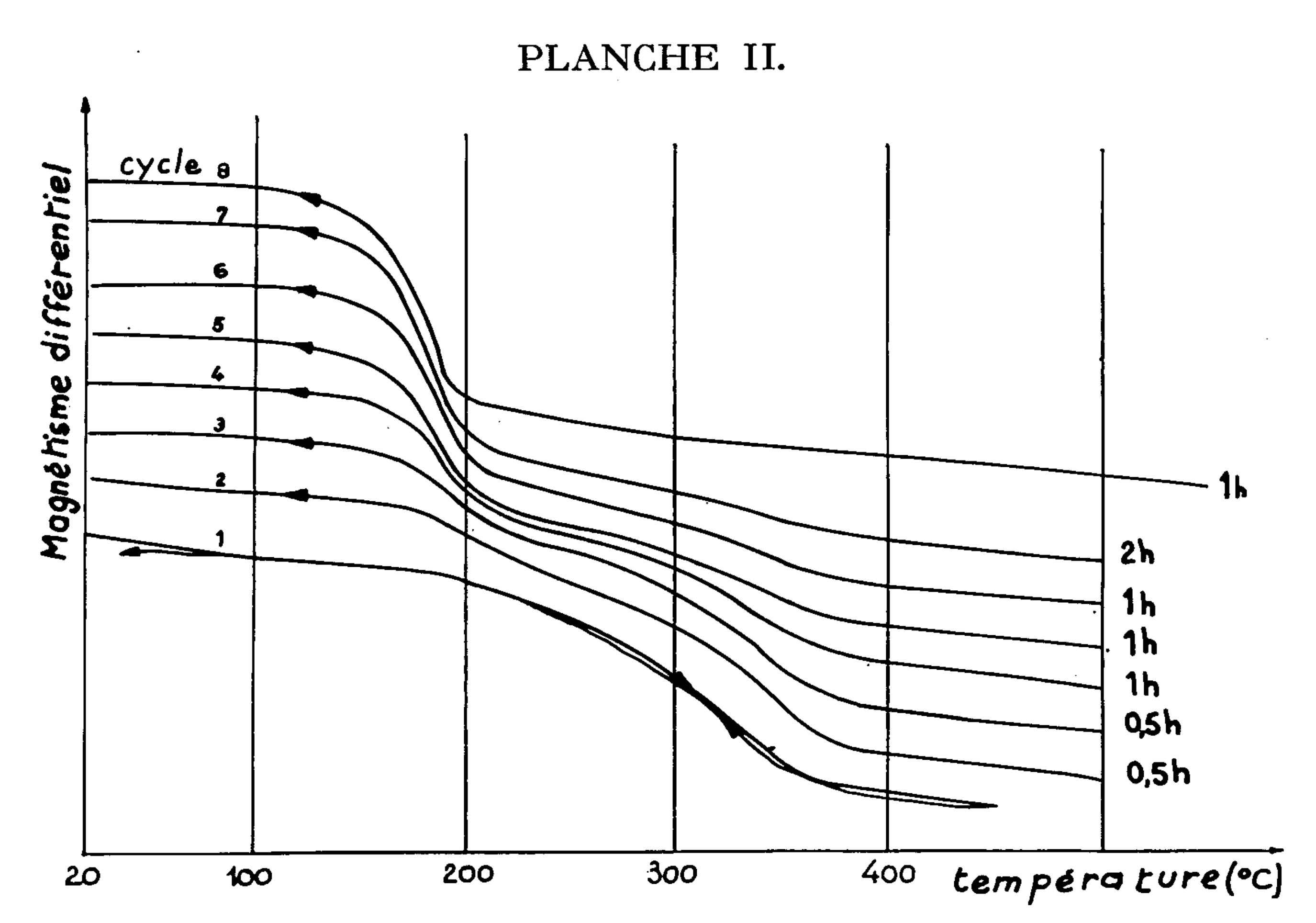


Fig. 1. — Thermomagnétométries différentielles successives après transformation totale à 400° C.

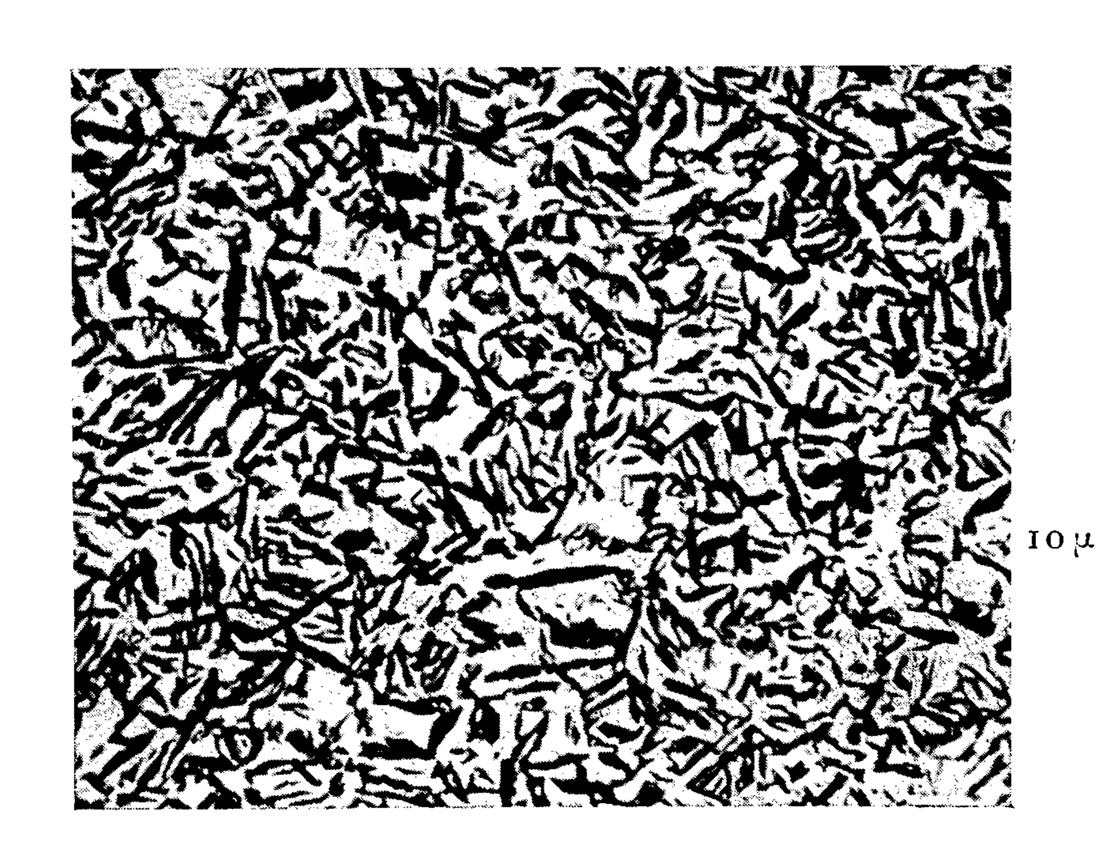


Fig. 3.
Micrographie
après la première étape.

Attaque = Nital
puis bisulfite de sodium.

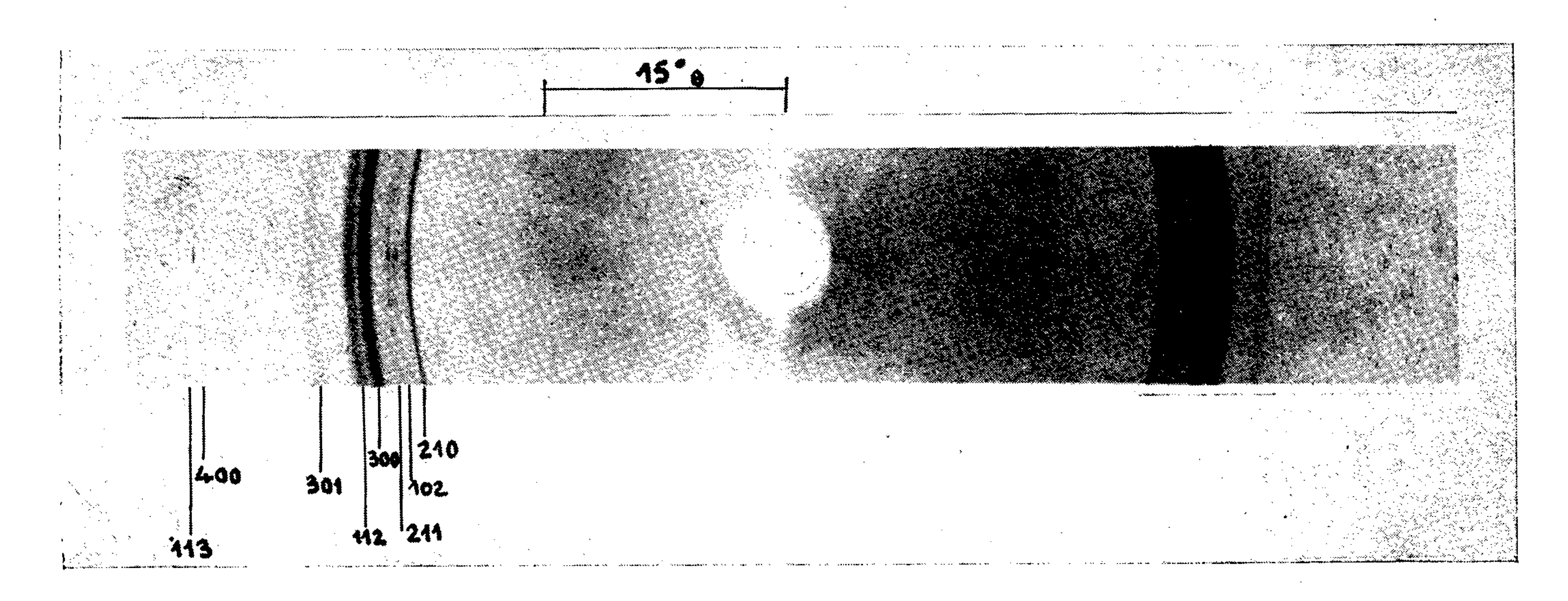


Fig. 5. — Diagramme de Debye et Scherrer
en transmission du nouveau carbure extrait électrolytiquement (rayonnement : CoK_α).

MÉTALLOGRAPHIE. — *Purification du cuivre de haute pureté par la méthode de la « zone fondue flottante ».* Note de M. **Jacques Le Héricy**, présentée par M. Georges Chaudron.

Dans une Note précédente (1), nous avons indiqué que la méthode de la zone fondue permettait de purifier le cuivre industriel (2) en utilisant une nacelle de graphite de pureté nucléaire et en se plaçant dans une atmosphère d'argon purifié. Toutefois, la pureté du lingot atteint une valeur limite, peu modifiée par un plus grand nombre de passages de la zone fondue, alors que la queue du lingot s'enrichit en impuretés de façon considérable.

Des essais de purification identiques, effectués sur du cuivre de haute pureté (99,999 %) ont aussi montré que la faible purification obtenue en tête du lingot n'explique pas la trop forte concentration d'impuretés vers la queue (3). Nous avons supposé, avec d'autres chercheurs (4), que des impuretés du graphite pouvaient polluer le cuivre et être drainées vers la queue du lingot.

Nous avons alors renoncé à l'emploi de nacelles et adopté la méthode de la « zone fondue flottante » (5), qu'il a fallu adapter au cas particulier du cuivre (6). La tension superficielle n'étant pas suffisante pour maintenir une goutte de cuivre en fusion entre deux tiges cylindriques verticales, nous avons utilisé le chauffage par courant à haute fréquence (350 kHz), qui permet de profiter des effets de répulsion s'établissant entre courant induit et courant inducteur. En prenant des enroulements inducteurs coniques, le métal fond dans la région de plus fort couplage (*fig.* 1), et la zone fondue subit un effet de pincement, qui supplée à la tension superficielle pour obtenir la stabilité de la goutte. Ces enroulements présentent donc dans leur partie étroite essentiellement une zone de confinement, où le barreau vertical fond en donnant une zone fondue stable, alors que leur partie la plus large constitue surtout une zone de lévitation (7), où s'effectue principalement, dans notre cas, un préchauffage de la tige supérieure. La figure 1 montre les deux types d'enroulements utilisés pour la fusion de tiges de cuivre, dont les diamètres sont de 5 et 9 mm. Les figures 2 et 3 présentent deux lingots de cuivre de « zone fondue flottante », ayant subi 10 passages de zone fondue, déplacée de bas en haut à la vitesse de 16 mm/h pour celui de 5 mm de diamètre, et de 32 mm/h pour celui de 9 mm de diamètre.

Le barreau de cuivre, dont la partie médiane est seule destinée à la fusion, est maintenu entre deux tiges de fer à l'intérieur d'un tube de verre pyrex, pouvant se déplacer verticalement dans l'enroulement inducteur fixe; le tube est fermé à ses extrémités par des bouchons métalliques à deux joints toriques, entre lesquels on maintient le vide, comme dans

le cas de la zone fondue verticale du zirconium ([8]). Une atmosphère d'argon purifié règne dans l'enceinte sous une pression de 60 cm Hg.

Le lingot de 9 mm de diamètre, présenté à la figure 3, est en cuivre de haute pureté (99,999 %). Après les 10 passages de la zone fondue, il est ressorti monocristallin. Sa pureté a été déterminée par la mesure de la

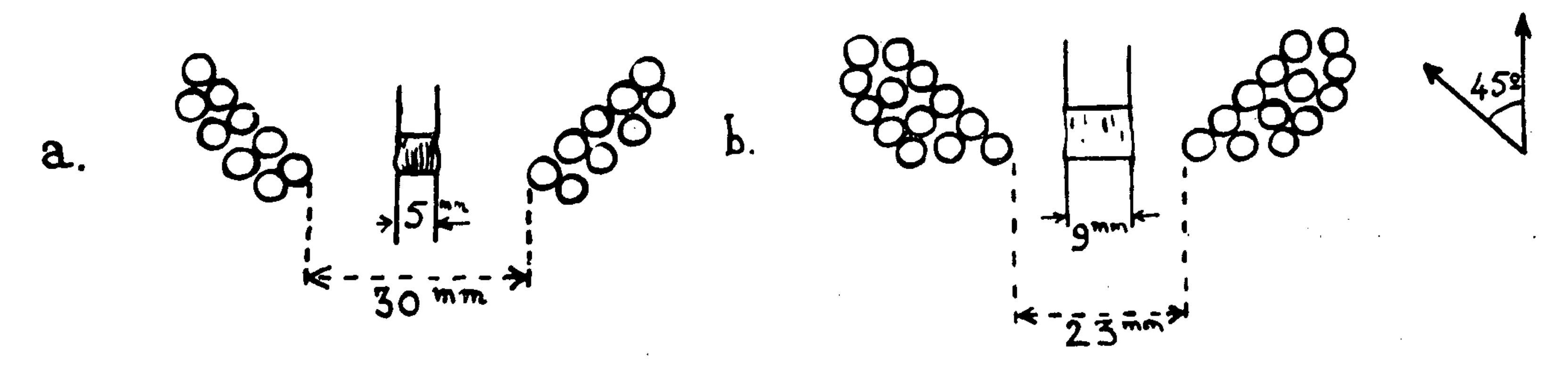


Fig. 1. — Enroulements inducteurs coniques pour la zone fondue flottante du cuivre.
a. pour tige de cuivre de 5 mm de diamètre;
b. pour tige de cuivre de 9 mm de diamètre.

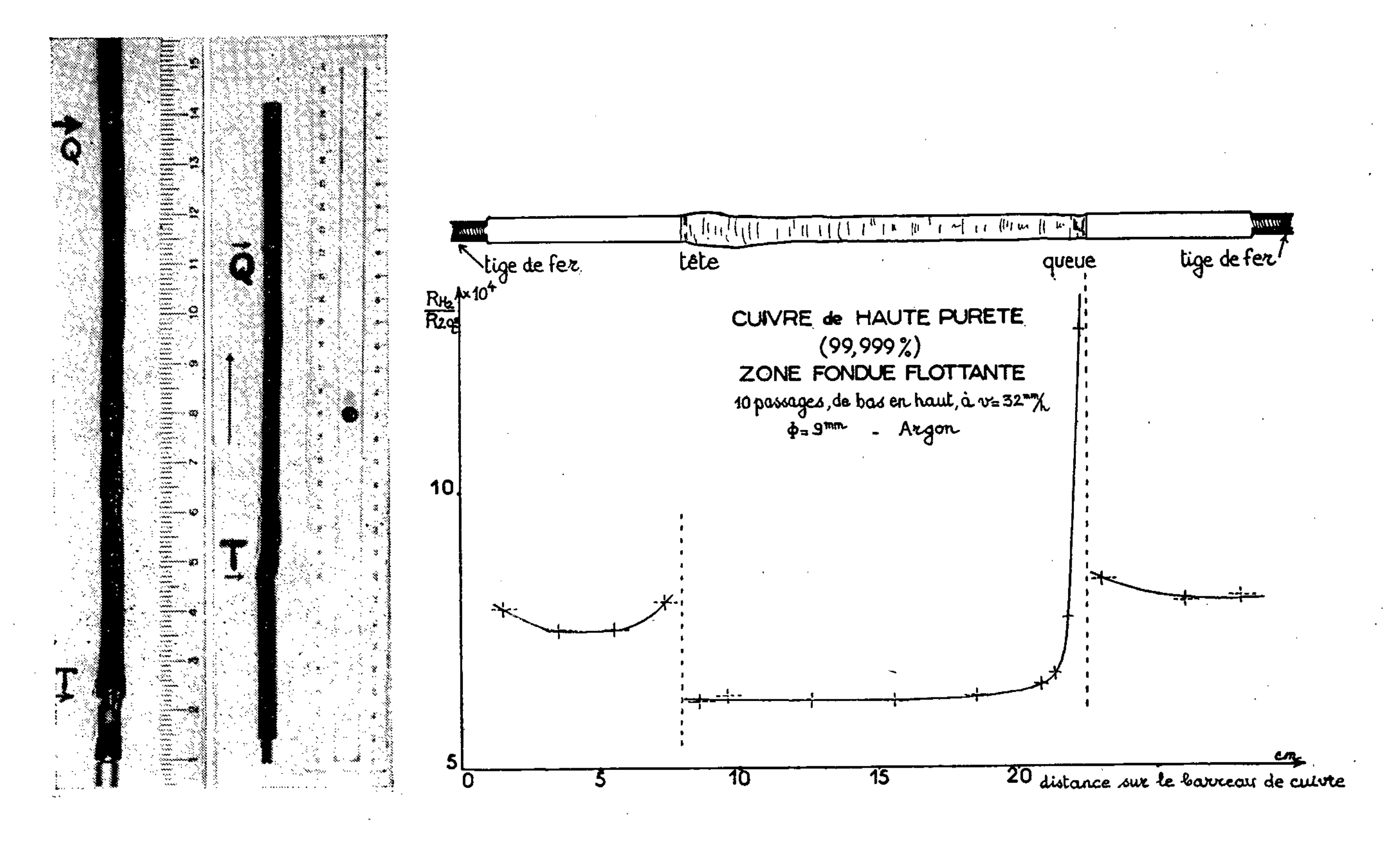


Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 2. — Tige de cuivre de haute pureté (99,999 %), de 5 mm de diamètre, après 10 passages de la zone fondue de bas en haut à 16 mm/h.

Fig. 3. — Tige de cuivre de haute pureté (99,999 %), de 9 mm de diamètre, après 10 passages de la zone fondue, de bas en haut à 32 mm/h.

Fig. 4. — Variation de la résistivité électrique à basse température ($\rho_{H} = R_{H_2}/R_{20^\circ C}$) le long du lingot de cuivre et des tiges non fondues.

résistivité électrique à la température de l'hydrogène liquide. Des échantillons, prélevés sur les tiges non fondues, ainsi que sur la partie purifiée par zone fondue, sont laminés puis tréfilés en fils de 1 mm de diamètre. Ceux-ci sont recuits sous vide de 10^{-4}, 10^{-5} mm Hg pendant 14 h environ, à 500° C. On mesure la résistance électrique de chacun d'eux à 20° C, puis

à la température de l'hydrogène liquide (20,4° K). Le rapport $\rho_H = R_{H_2}/R_{20^\circ C}$, déterminé à 2 % près, atteint la valeur de $6,2.10^{-4}$ sur la quasi-totalité de la partie purifiée par zone fondue, alors qu'en queue il monte à $12,9.10^{-4}$. Les fils tirés des tiges non fondues présentent un rapport ρ_H voisin de 8.10^{-4}, même pour ceux provenant des parties adjacentes aux tiges de fer. Il n'y a donc pas eu pollution par le fer. Le bilan entre métal purifié et métal impur en queue du lingot paraît mieux équilibré (*fig.* 4) que dans le cas de la « zone fondue » en nacelle de graphite.

(1) J. LE HÉRICY, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1385.

(2) Cuivre pur désoxydé de haute conductibilité (O. F. H. C.).

(3) F. MONTARIOL, *Colloque international sur les nouvelles propriétés physiques et chimiques des métaux de très haute pureté*, Paris, 12-14 octobre 1959.

(4) E. J. KUNZLER et J. H. WERNICK, *Trans. A. I. M. E.*, 212, 1958, p. 856.

(5) P. H. KECK et M. J. E. GOLAY, *Phys. Rev.*, 89, 1953, p. 1897.

(6) J. LE HÉRICY, *Colloque international sur les nouvelles propriétés physiques et chimiques des métaux de très haute pureté*, Paris, 12-14 octobre 1959.

(7) D. M. WROUGHTON, E. C. OKRESS, P. H. BRACE, G. COMENETZ et J. C. KELLY, *J. Electrochem. Soc.*, 99, n° 1, 1952, p. 205.

(8) J. P. LANGERON, P. LEHR, PH. ALBERT et G. CHAUDRON, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 35.

MÉTALLURGIE. — *Préparation du calcium par distillation d'alliages liquides aluminium-silicium-calcium.* Note (*) de MM. **Étienne Bonnier**, **Pierre Poyet** et **Régis Caboz**, transmise par M. Jean-Lucien Andrieux.

Les courbes d'isorapport de volatilité de l'aluminium et du silicium vis-à-vis du calcium permettent le choix, à partir d'alliages industriels Al/Ca, Si/Ca, de compositions ternaires de départ assurant les conditions optimales de pureté et de taux d'extraction du calcium. Comparaison est faite avec certains résultats expérimentaux.

Les conditions optimales de pureté sont calculées à l'aide des rapports des vitesses moyennes de distillation de l'aluminium et du silicium à celle du calcium. Ces grandeurs sont obtenues, dans le cas d'un transfert moléculaire, à partir de la vitesse instantanée [1] :

$$(1)\qquad V \# 5{,}833.10^{-2}\, a\, \pi^{*}(MT)^{-\frac{1}{2}}\ \text{moles.cm}^{-2}\text{s}^{-1}.$$

Les activités a sont calculées à partir de l'enthalpie libre de mélange ternaire :

$$(2)\qquad \Delta G = \Delta G^{id} + \sum N_i N_j f(N_i) + N_{Al} N_{Si} N_{Ca}\, g(N_{Al},\ N_{Si}) \qquad (i, j \ldots = \text{Al, Si, Ca}).$$

Les grandeurs $N_i N_j f(N_i)$ sont les enthalpies libres binaires d'excès $\Delta G^{xs}_{Al\,Si}$, etc. et le terme $N_{Al} N_{Si} N_{Ca}\, g\ (N_{Al},\ N_{Si})$ représente la contribution de l'interaction ternaire qui peut être négligée.

A l'aide des données d'enthalpie de formation de AlSi [2] et $CaAl_2$ [3], des enthalpies libres de formation de CaSi et $CaSi_2$ [4], de valeurs d'activités déjà calculées [5], et en utilisant les relations de Guggenheim [6] et de Kleppa [4], on exprime

$$(3)\qquad \begin{aligned}\Delta G_{Al\,Si\,Ca} = {} & \Delta G^{id} + N_{Al} N_{Si}(-3\,200) \\ & + N_{Si} N_{Ca}[-59\,748 - 29\,842(N_{Ca} - N_{Si}) - 13\,524(N_{Ca} - N_{Si})^2] \\ & + N_{Al} N_{Ca}(-44\,588).\end{aligned}$$

Les tensions de vapeur π^{*} des éléments [7], [8] et les activités déduites de la relation (3), permettent de calculer pour chaque composition d'alliage et pour la température T, les vitesses instantanées :

$$\begin{aligned}V_{Ca} = 6{,}5813.10^{-2} \times N_{Ca} \exp\Big\{ \frac{1}{4{,}575\,T}[N_{Al}^2(-44\,588)] \\ + N_{Si}^2[-59\,748 - 29\,842\,(3N_{Ca} - N_{Si}) \\ - 13\,524\,(5N_{Ca} - N_{Si})\,(N_{Ca} - N_{Si})]\Big\},\end{aligned}$$

$$V_{Al} = 1{,}215.10^{-5} \times N_{Al} \exp\Big\{ \frac{1}{4{,}575\,T}[N_{Ca}^2(-44\,588) + N_{Si}^2(-3\,200)]\Big\},$$

$$\begin{aligned}V_{Si} = 4{,}11.10^{-6} \times N_{Si} \exp\Big\{ \frac{1}{4{,}575\,T}(N_{Ca}^2[-59\,748 - 29\,842\,(N_{Ca} - 3N_{Si}) \\ - 13\,524(N_{Ca} - 5N_{Si})\,(N_{Ca} - N_{Si})] + N_{Al}^2(-3\,200))\Big\}.\end{aligned}$$

Les pollutions théoriques peuvent alors être calculées pour les taux d'extraction fixés. Les tableaux I et II et la figure 1 résument et confrontent résultats expérimentaux et estimations théoriques.

TABLEAU I.

Essais de 15 mn. T = 1573°K, p = 0,5.		Alliage initial.			Alliage final.			Taux d'extraction du calcium.
N°	charge (g).	N_{Ca}.	N_{Al}.	N_{Si}.	N_{Ca}.	N_{Al}.	N_{Si}.	%.
1..........	354	0,163	0,581	0,256	0,093	0,626	0,281	49
2..........	300	0,19	0,40	0,40	0,074	0,458	0,467	60
3..........	240	0,22	0,23	0,54	0,11	0,26	0,62	54

TABLEAU II.

Essai.	Vitesses moyennes de distillation (moles.cm⁻².s⁻¹).			Impuretés dans le condensat.			
				Al(g %).		Si(g %).	
	$\overline{V}_{Ca}$.	$\overline{V}_{Al}$.	$\overline{V}_{Si}$.	Théor.	Expér.	Théor.	Expér.
1........	$1,32.10^{-5}$	$5,36 .10^{-6}$	$3,827.10^{-7}$	20	8	1,7	0,10
2........	2,80 »	3,29 »	$1,20 .10^{-6}$	7,1	4,5	2,6	0,40
3........	1,40 »	1,416 »	1,717 »	5,9	3,1	7,3	0,70

La figure 1 montre que théoriquement, à partir d'alliages industriels A et E, les compositions voisines de celles figurées par le point 2 doivent permettre l'obtention du produit distillé le plus pur, ce qui a été vérifié expérimentalement par les essais 2 et 3.

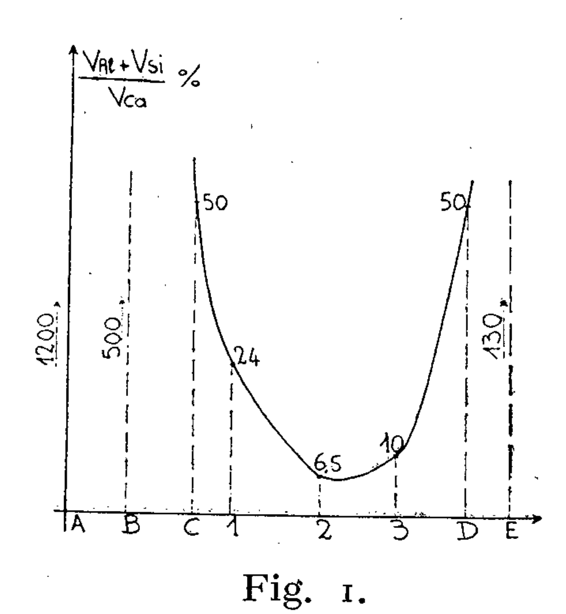


Fig. 1.

Ordonnées : pollution instantanée totale.

Abscisses : points figuratifs des alliages de départ (section AE de la figure 2).

Par ailleurs, le tracé des courbes d'isorapport de volatilité (*fig.* 2) met en évidence la zone X des compositions ternaires de départ réalisables à partir d'alliages industriels conduisant au calcium de teneurs minimales en aluminium et silicium (Al/g % < 3, Si/g % < 0,10).

L'ensemble des conclusions théoriques montre l'intérêt qu'il y a à distiller le ternaire Al/Si/Ca plutôt que les seuls binaires Al/Ca et Si/Ca [9]. A ces conditions thermodynamiques optimales s'ajoute l'amélioration des

conditions cinétiques par l'accroissement de la fluidité du bain. En outre, les produits distillés ont toujours une composition située dans le domaine Y (E_1, E_2, E_3), dans lequel les rapports de volatilité sont suffisamment faibles ($< 10^{-4}$) pour envisager favorablement un raffinage par distillation.

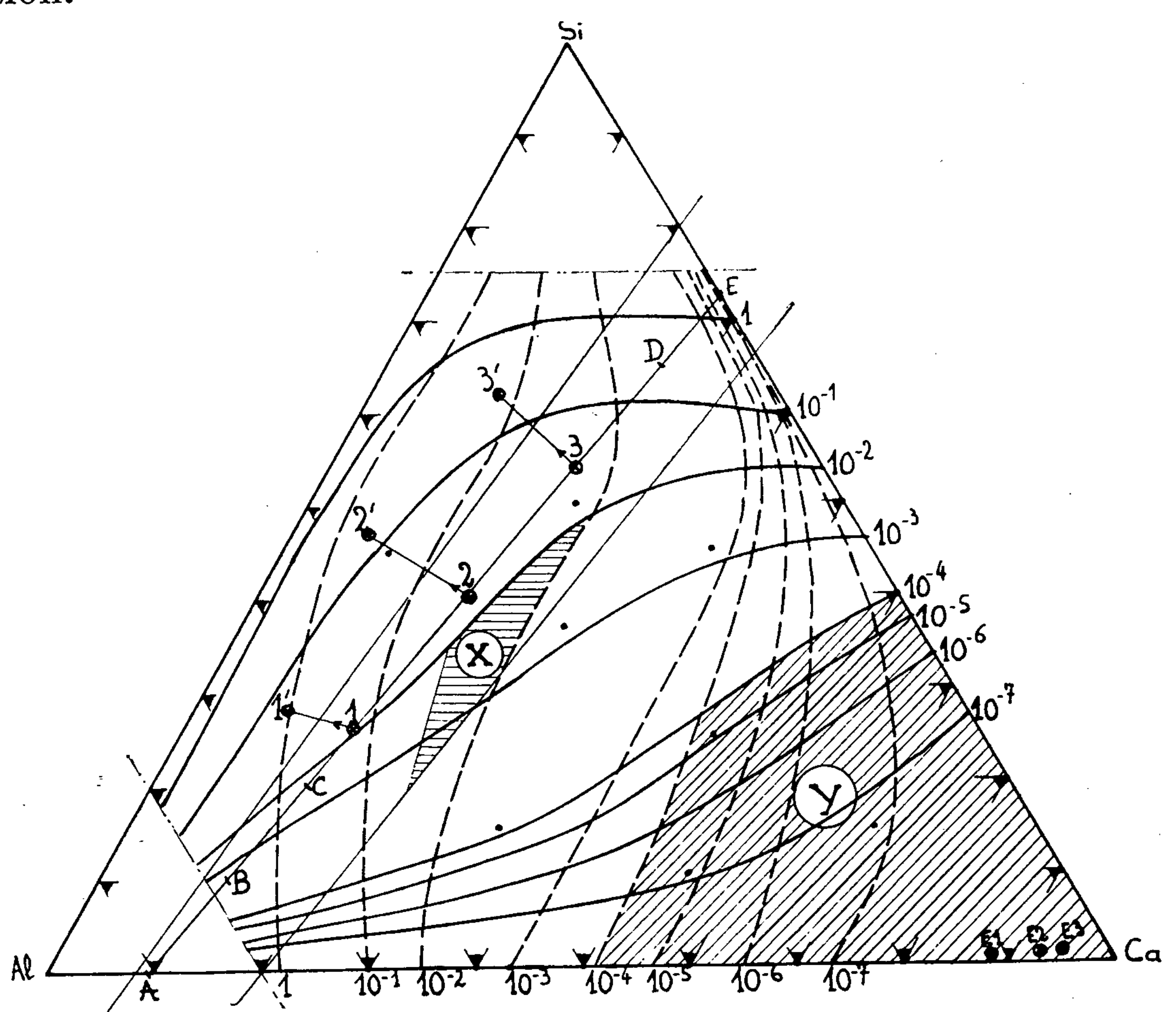


Fig. 2. — Courbes d'isorapport de volatilité.

V_{Al}/V_{Ca}, — — — — courbes en tirets; V_{Si}/V_{Ca}, ——— courbes en traits pleins.

Points 1, 2, 3 : alliages expérimentaux de départ;

» 1', 2', 3' : alliages résiduels correspondants;

» E_1, E_2, E_3 : condensats correspondants.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) A. J. Martin, A. W. R. E., *Métal Industry* June 1956, p. 475.
(2) Kubaschewski et Catterall, *Thermochemical data of alloys*, 1956, p. 116.
(3) Kocherov et Guertman, *Z. Neorg. Khimii.*, 4, n° 5, 1959, p. 1106-1112.
(4) Kubaschewski et Evans, *Metallurgical Thermochemistry*, 1956, Pergamon Press Ltd.
(5) E. Bonnier et P. Desré, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1664.
(6) Guggenheim, *Proc. Roy. Soc.*, (A), 148, 1935, p. 304.
(7) D. H. Tomlin, *Proc. Phys. Soc.*, 67, 1954, p. 787.
(8) A. Eucken, *Metallwirtsch.*, 15, 1936, p. 63.
(9) E. Bonnier, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1259.

(*École Nationale Supérieure d'Électrochimie et d'Électrométallurgie, Grenoble.*)

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Nouvelle méthode d'identification des détergents anioniques soufrés.* Note de MM. **Jean Renault** et **Luc Bigot**, présentée par M. René Fabre.

Le chlorure de triphényltétrazolium forme, avec les détergents anioniques sulfatés ou sulfonés, des sels extractibles par le dibromoéthane. Le cation tétrazolium est caractérisé dans le solvant par un réducteur qui engendre un colorant rouge. On dispose ainsi d'une méthode sensible et pratiquement spécifique permettant de mettre en évidence ces détergents dans les milieux les plus divers.

On connaît les difficultés rencontrées lors de la caractérisation des détergents anioniques sulfatés ($R—O—SO_3^-$) ou sulfonés ($R—SO_3^-$) dans lesquels R est un reste hydrophobe caractérisé par la présence d'une chaîne hydrocarbonée à plus de huit atomes de carbone. On fait appel en général à des amines ou à des ammoniums quaternaires qui par double décomposition engendrent un nouveau sel dont l'anion est le détergent. Si le cation est lourd, le sel à anion organique est extractible par un solvant non miscible à l'eau. Certains auteurs utilisent des cations colorés : bleu de méthylène ([1]), vert de méthyle ([2]), etc. La coloration de la phase organique révèle alors suffisamment la présence du détergent; toutefois quelques inconvénients sont à signaler : le colorant n'est pas rigoureusement insoluble dans la phase organique et il est impossible de l'éliminer par lavage; de plus des substances minérales ou organiques peuvent interférer en donnant des réactions faussement positives ou en se comportant comme inhibitrices.

La microméthode proposée repose sur le principe énoncé plus haut. Elle met en jeu cette fois un composé incolore, le chlorure de triphényl-2.3.5 tétrazolium (TPT). En tant qu'ammonium quaternaire, il se combine aux détergents anioniques même aux pH moyens alors que les amines nécessitent une forte acidité susceptible de provoquer l'hydrolyse des détergents sulfatés. Avec les tensioactifs anioniques soufrés, il forme des sels extractibles par le dibromo-1.2 éthane alors que le chlorure de TPT n'est pratiquement pas extrait. Le cation TPT est d'autre part facile à caractériser sous l'action de l'hydrosulfite qui le transforme en un composé de réduction fortement coloré en rouge (« formozan » de Pechmann) ([3]). Nous avons constaté qu'il faut au préalable déplacer le cation tétrazolium de sa combinaison avec l'anion détergent par le chlorure de triméthylcétylammonium.

La réaction est caractéristique des détergents soufrés anioniques à longues chaînes. Les anions $B_4O_7^{2-}$, CO_3^{2-}, NO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, SO_3^{2-}, PO_4^{3-}, $P_2O_7^{4-}$, PO_3^-, hexamétaphosphates, silicates, $S_2O_8^{2-}$, BO_3^- ne gênent pas. Les sels d'acides gras, les alcools gras, les oxydes d'éthylène polymérisés, les tweens, les carboxyméthylcelluloses, les peptones sont dépourvus d'effet. Seuls les thiocyanates interfèrent à fortes concentrations ($1\,000 . 10^{-6}$ donnent une coloration voisine de $2 . 10^{-6}$ de détergent).

Les protéines qui absorbent les détergents inhibent l'extraction mais on peut y remédier (*voir* plus loin). Les ammoniums quaternaires à longues chaînes qui forment avec les détergents des sels très stables perturbent également l'extraction. La limite de sensibilité est comprise entre 1 et 5.10^{-6} pour les détergents anioniques soufrés les plus divers (alcoylsulfates primaires et secondaires, esters d'acides gras et de polyols sulfatés, alcool-oxo-oxyéthylés sulfatés, oxydes de phényl et de polyéthylèneglycols sulfatés, sulforicinoléates, alcoylsulfonates, alcoylbenzènesulfonates, etc.

La technique est la suivante : à 40 ml de solution neutralisée éventuellement de son alcalinité ou de son acidité par H Cl ou par Na OH, ajouter 10 ml de tampon à pH 2,5 (glycocolle, 7,5 g; Na Cl, 5,8 g; H Cl dilué, 1 000 ml) et 1 ml de solution récente de chlorure de TPT à 1 %. Extraire avec deux fois 5 ml de dibromoéthane. Laver trois fois le solvant organique avec 10 ml de tampon dilué à 30 %. La couche organique limpide (Na_2SO_4) est agitée avec 2 ml de solution à 0,50 % de bromure de triméthylcétylammonium. L'addition de trois gouttes de solution extemporanée à 1 % d'hydrosulfite de sodium dans un tampon phosphaté de pH 7 développe une coloration rose ou rouge en présence de détergent. Un essai-témoin effectué dans les mêmes conditions ne donne aucune coloration. Lorsque la solution contient des persels, il est nécessaire de les décomposer au préalable par ébullition en milieu alcalin. La méthode a été appliquée à la recherche des détergents anioniques soufrés dans divers aliments (vins, sodas, bières et laits). Dans ce dernier cas, isoler par centrifugation les protéines précipitées par 4 ml d'acide sulfosalicylique à 10 %. Éluer les détergents fixés en totalité sur les protéines par chauffage avec deux fois 5 ml d'éthanol qu'on évapore à sec. Le résidu repris par l'eau est traité comme précédemment. Nous avons soumis à notre technique dix échantillons commerciaux de chacun des aliments précités. Nous avons caractérisé la présence d'une faible quantité de détergent dans trois échantillons de vins et de sodas, dans deux bières et dans un lait.

(1) J. H. Jones, *J. Assoc. Agr. Chemists*, 28, 1945, p. 398.
(2) W. A. Moore et R. A. Kolbeson, *Anal. Chem.*, 28, 1956, p. 161.
(3) H. V. Pechmann et P. Runge, *Ber. Chem. Ges.*, 27, 1894, p. 1960.

(*Laboratoire de Chimie organique, Faculté de Pharmacie, Paris.*)

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur deux sulfures de même type cristallographique* Yb_3S_4 *et* CaY_2S_4. Note de MM. **Jean Flahaut**, **Louis Domange**, Mme **Madeleine Patrie** et Mlle **Micheline Guittard**, présentée par M. Georges Chaudron.

Les sulfures Yb_3S_4 et CaY_2S_4 ont le même type cristallographique orthorhombique. Le premier présente un grand domaine d'homogénéité s'étendant jusqu'à la composition $YbS_{1,46\pm0,02}$, avec apparition de lacunes dans le réseau des cations.

Nous avons dans une Note précédente [1], décrit les diverses phases du système soufre-ytterbium. L'une d'elles, que nous désignions par l'étendue de son domaine d'homogénéité, $YbS_{1,49-1,33}$, a un diagramme de rayons X caractéristique, que nous n'avions pu identifier. Nous avons depuis retrouvé ce même type cristallin avec un autre sulfure, formé par combinaison équimoléculaire du sulfure d'yttrium avec le sulfure de calcium, de formule CaY_2S_4. Ce composé, contrairement au précédent, ne possède pas de domaine d'homogénéité, et nous permet d'affirmer que la formule générale correspondant à ce type est AB_2S_4. Appliquée au sulfure d'ytterbium, elle conduit à la formule Yb_3S_4, soit encore $YbS_{1,33}$, l'une des limites du domaine d'homogénéité indiqué. Une étude ultérieure nous a conduit à l'identification du système cristallin.

Yb_3S_4 *et domaine d'homogénéité* $YbS_{1,46}$—$YbS_{1,33}$. — Nous avons observé, à l'aide d'un cristal correspondant à la composition Yb_3S_4, que le système cristallin est orthorhombique. La maille élémentaire est très plate avec deux arêtes de longueurs voisines :

$$a = 12,81\ \text{Å},\qquad b = 12,97\ \text{Å},\qquad c = 3,84\ \text{Å}.$$

La densité calculée avec 4 mol Yb_3S_4 par maille est de 6,74 g/ml. Nous avons mesuré $d_4^0 = 6,72$.

Lorsque la teneur en soufre augmente, les paramètres décroissent légèrement, jusqu'aux valeurs

$$a = 12,69\ \text{Å},\qquad b = 12,87\ \text{Å},\qquad c = 3,82\ \text{Å}.$$

La comparaison des données chimiques, cristallographiques, densimétriques et magnétiques permet d'assigner à cette limite la composition $YbS_{1,46\pm0,02}$. Pour calculer la densité correspondante, il faut admettre que la structure devient lacunaire en cations, tandis que le réseau des ions soufre est toujours complètement rempli. Un phénomène comparable se produit pour la phase type Th_3P_4 des sulfures cériques, dans le domaine Me_2S_3-Me_3S_4 [2]. Pour la composition $YbS_{1,46}$, il y a 16 ions soufre et en moyenne 10,96 ions ytterbium dans la maille élémentaire. La densité calculée est alors 6,41 g/ml. Nous avions mesuré $d_4^0 = 6,44$ [1].

Les mesures magnétiques que nous avions déjà citées [1] permettent de préciser ce phénomène. On a [3]

Yb_3S_4 (ou $YbS_{1,33}$) : $\chi_s = 21,97 \cdot 10^{-6}$ soit $\chi_a = 4\,740 \cdot 10^{-6}$;

$YbS_{1,46\pm0,02}$: $\chi_s = 29,77 \cdot 10^{-6}$ soit $\chi_a = 6\,545 \cdot 10^{-6}$;

où χ_s désigne la susceptibilité spécifique et χ_a la susceptibilité rapportée à 1 at-g d'ytterbium. En négligeant le diamagnétisme de l'ion soufre, ces valeurs permettent de calculer les proportions d'ions Yb^{2+} diamagnétique et Yb^{3+} paramagnétique dans les deux produits ci-dessus. En effet, la permanence de l'ion S^{2-} entraîne la présence dans $Yb_3\,S_4$ de deux ions Yb^{3+} pour un ion Yb^{2+}. Dans $Yb\,S_{1,46}$ il y a en moyenne 0,92 ion Yb^{3+} pour 0,08 ion Yb^{2+}. Nous prendrons pour susceptibilité caractéristique, par atome-gramme de Yb^{2+} : $\chi_a = 0$ et de Yb^{3+} : $\chi_a = 7\,130 \cdot 10^{-6}$, cette dernière valeur étant calculée à partir du sulfure $Yb_2\,S_3$ [1]. On obtient ainsi, pour $Yb_3\,S_4$: $\chi_a = 4\,750 \cdot 10^{-6}$ et pour $Yb\,S_{1,46}$, $\chi_a = 6\,560 \cdot 10^{-6}$. Ces valeurs sont en excellent accord avec les déterminations expérimentales et justifient les considérations ci-dessus. On a donc une solution solide lacunaire :

$$Yb^{3+}_{2+2/3x}\ Yb^{2+}_{1-x}\ S^{2-}_4\ \square_{1/3x}.$$

Il résulte de ceci que $Yb_3\,S_4$ peut être considéré comme un sulfure double $Yb\,S \cdot Yb_2\,S_3$ contenant deux ions métalliques de rayons différents, ce qui établit la liaison avec le paragraphe suivant.

$Ca\,Y_2\,S_4$. — Le sulfure d'yttrium $Y_2\,S_3$ forme avec les sulfures des métaux bivalents de nombreuses combinaisons, qui n'avaient pas encore été isolées. La plupart se rattachent à des types cristallins que nous avons déjà observés avec les sulfures des terres rares. C'est en particulier le cas du composé $Ca\,S$, $Y_2\,S_3$ ou $Ca\,Y_2\,S_4$.

On le prépare en chauffant dans un tube de silice scellé sous vide, un mélange équimoléculaire des sulfures constituants, préalablement comprimé. La température de chauffage, maintenue constante, peut être choisie entre 600 et 1 350° C. On refroidit brutalement en projetant le tube de silice dans l'eau.

On observe, suivant la température de préparation, deux phases distinctes. Les produits préparés au-dessous de 1 110° C ont un diagramme de rayons X à peu près identique à celui de $Yb_3\,S_4$; leur structure est donc du même type. Les diagrammes de rayons X des produits obtenus au-dessus de 1 110° C, quoique présentant de nombreuses analogies avec les précédents, ne peuvent s'interpréter de la même façon, et la structure de la phase de haute température est encore inconnue.

Les paramètres d'un produit préparé à 1 050° C sont :

$$a = 12,94\ \text{Å}, \quad b = 13,08\ \text{Å}, \quad c = 3,86\ \text{Å}.$$

La densité calculée avec 4 mol par maille est $d = 3,52$ g/ml. Nous avons mesuré $d_4^0 = 3,61$.

Des préparations de compositions voisines sont constituées de mélanges de phases, ainsi que le montrent les diagrammes de rayons X. Dans ces mélanges, la phase $Ca\,Y_2\,S_4$ garde des paramètres de grandeur constante. On peut en déduire que le domaine d'homogénéité au voisinage de $Ca\,Y_2\,S_4$, s'il existe, est d'importance extrêmement réduite.

Les combinaisons équimoléculaires formées par le sulfure d'yttrium avec le sulfure de strontium et le sulfure de baryum ont également été préparées, mais les diagrammes de rayons X diffèrent des précédents.

La raison de l'identité structurale de $Yb_3\,S_4$ et de $Ca\,Y_2\,S_4$ peut être trouvée dans la grande analogie existant entre les rayons ioniques de Y^{3+} et Yb^{3+} d'une part, et de Ca^{2+} et Yb^{2+} d'autre part. Plusieurs auteurs ont publié des tables de rayons des ions trivalents des terres rares. Les valeurs diffèrent beaucoup d'un auteur à l'autre, mais pour chacun d'eux, les rayons de Yb^{3+} et Y^{3+} sont toujours voisins : 0,95 et 0,96 Å (Brewer), 1,00 et 1,06 Å (Goldschmidt). Les valeurs de Templeton et Dauben ([4]) sont cependant en meilleur accord avec nos observations dans le cas des sulfures et nous préférons : 0,86 et 0,90 Å. Les rayons de Yb^{2+} et de Ca^{2+} sont sensiblement égaux d'après Senff et Klemm ([5]), qui indiquent 1,06 Å. Les rayons ioniques du strontium et du baryum sont nettement plus grands (1,18 et 1,38 Å).

([1]) L. Domange, J. Flahaut, Mlle M. Guittard et J. Loriers, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 1614.

([2]) M. Picon, L. Domange, J. Flahaut, Mlle M. Guittard et Mme M. Patrie, *Bull. Soc. Chim.*, 1960, p. 221.

([3]) Une erreur s'est glissée dans la rédaction des susceptibilités magnétiques (*Comptes rendus*, 247, 1958, p. 1615). Les valeurs indiquées ne sont pas les susceptibilités atomiques χ_a mais les susceptibilités spécifiques χ_s multipliées par 100.

([4]) Templeton et Dauben, *J. Amer. Chem. Soc.*, 76, 1954, p. 5237.

([5]) Senff et Klemm, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 242, 1939, p. 92.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'hydrolyse des esters de l'acide orthophosphorique.* Note (*) de MM. **Mohamed Sélim** et **Pierre Leduc**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les auteurs étudient l'hydrolyse, à différents pH et températures, des diesters propylique et isopropylique de l'acide orthophosphorique en monoesters.

Les résultats exposés dans cette Note concernent les diesters propylique et isopropylique de l'acide orthophosphorique, obtenus selon la méthode décrite avec P. Chabrier ([1]). Ce travail fait partie d'une étude sur l'hydrolyse des esters et des amides de l'acide *o*-phosphorique, étude qui a déjà fait l'objet des publications ([2]), ([3]) et ([4]). La publication ([2]) était consacrée aux mono- et diesters méthyliques de l'acide *o*-phosphorique : nous avons constaté, depuis, que le monoester s'hydrolysait, dans tous les cas, dès le début du chauffage. Ce monoester a d'ailleurs fait l'objet d'une publication très détaillée de Bunton et coll. ([5]).

La réaction d'hydrolyse des diesters propylique et isopropylique de l'acide *o*-phosphorique en monoesters correspondants a été suivie par dosage de l'acidité apparue, de pK voisin de 6,5. Nous avons opéré à 100,3, 111,2 121,4 et 133,3°C pour le diester propylique et à 79,87 et 100°C pour le diester isopropylique, sur des solutions M/10 de ces esters, en milieu acide perchlorique N, N/2 et N/10, fixant, aux températures indiquées, le pH des solutions à 0, 0,3 et 0,85; et sur des solutions M/20, après neutralisation de l'acidité des esters, en milieu tampon HCl, KCl, fixant le pH à la valeur 1,24.

La réaction apparaît, dans ces conditions, du premier ordre. Elle dépend, à une température et à un pH donnés, d'une constante de vitesse de la forme $K = (1/2)\,\text{Log}\,(C_0/C)$, (C, concentration au temps t du diester de concentration initiale C_0). Les constantes de vitesse ont été calculées en logarithmes népériens, et sont exprimées en inverses de secondes.

Les tableaux I et II montrent l'influence exercée par le pH sur la valeur des constantes de vitesse d'hydrolyse à une température donnée.

On peut constater que le diester isopropylique est beaucoup plus sensible à l'hydrolyse que le diester propylique.

Tableau I. — *Ester dipropylique.*

pH.	$10^6 K_1^{I}$.	$10^6 K_1^{II}$.	$10^6 K_1^{III}$.	$10^6 K_1^{IV}$.	$\log K_1^{I}$.	$\log K_1^{II}$.	$\log K_1^{III}$.	$\log K_1^{IV}$.
0......	4,37	12,6	37,7	108,7	—5,35952	—4,89963	—4,42366	—3,96377
0,3....	2,72	8,15	21,7	57,5	—5,56543	—5,08884	—4,66354	—4,24033
0,85...	1,44	4,6	11,2	28,5	—3,84164	—5,33724	—4,95078	—4,54518
1,24...	0,8	2,36	5,12	18,2	—6,09691	—5,62709	—5,29073	—4,73993

K_1^{I}, K_1^{II}, K_1^{III} et K_1^{IV} sont respectivement les constantes d'hydrolyse du diester propylique en monoester à 100,3, 111,2, 121,9 et 133,3°C.

TABLEAU II. — *Ester diisopropylique.*

pH.	$10^6 K_2^{V}$.	$10^6 K_2^{VI}$.	$10^6 K_2^{VII}$.	$\log K_2^{V}$.	$\log K_2^{VI}$.	$\log K_2^{VII}$.
0......	17,1	37,4	145,7	—4,76700	—4,42713	—3,83654
0,3....	7,35	17,1	63,3	—5,13371	—4,76700	—4,19860
0,85...	1,66	3,9	16,95	—5,77989	—5,40894	—4,77083
1,24...	0,55	1,26	4,56	—6,25964	—5,89963	—5,34104

K_2^{V}, K_2^{VI} et K_2^{VII} sont respectivement les constantes d'hydrolyse du diester isopropylique en monoester à 79, 87 et 100°C.

Si l'on représente graphiquement (*fig.* 1 et 2) la variation, à température constante, des logarithmes décimaux des constantes de vitesse en fonction du pH, on obtient, pour chaque diester, une famille de droites sensiblement parallèles. On peut donc admettre qu'il y a, dans l'intervalle de pH considéré, proportionnalité entre les logarithmes des constantes de vitesse et le pH. Les tableaux III et IV montrent l'influence exercée par la température sur la valeur des constantes de vitesse d'hydrolyse à un pH donné.

TABLEAU III. — *Ester dipropylique.*

T°C.	$10^6 K_1^{A}$.	$10^6 K_1^{B}$.	$10^6 K_1^{C}$.	$10^6 K_1^{D}$.	$\text{Log} K_1^{A}$.	$\text{Log} K_1^{B}$.	$\text{Log} K_1^{C}$.	$\text{Log} K_1^{D}$.	$\frac{1}{T}$ (°K)$^{-1}$.
100,3...	4,37	2,72	1,44	0,8	—12,34075	—12,81488	—13,45087	—13,59237	$2,679.10^{-3}$
111,2...	12,6	8,15	4,6	2,36	—11,28181	—11,71739	—12,28945	—13,95685	2,603 »
121,9...	37,7	21,7	11,2	5,12	—10,18585	—10,73820	—11,39960	—12,18236	2,532 »
133,3...	108,7	57,5	28,5	18,2	— 9,12693	— 9,76373	—10,46561	—10,91409	2,461 »

K_1^{A}, K_1^{B}, K_1^{C} et K_1^{D} sont respectivement les constantes de vitesse d'hydrolyse du diester propylique en monoester aux pH 0, 0,3, 0,85 et 1,24.

TABLEAU IV. — *Ester diisopropylique.*

T°C.	$10^6 K_2^{A}$.	$10^6 K_2^{B}$.	$10^6 K_2^{C}$.	$10^6 K_2^{D}$.	$\text{Log} K_2^{A}$.	$\text{Log} K_2^{B}$.	$\text{Log} K_2^{C}$.	$\text{Log} K_2^{D}$.	$\frac{1}{T}$ (°K)$^{-1}$.
79....	17,1	7,35	1,66	0,55	—10,97643	—11,82081	—13,30869	—14,41635	$2,841.10^{-3}$
87....	37,4	17,1	3,9	1,26	—10,19384	—10,97643	—12,45453	—13,58440	2,778 »
100....	145,7	63,3	16,95	4,56	— 8,83396	— 9,66762	—10,98525	—12,29819	2,681 »

K_2^{A}, K_2^{B}, K_2^{C} et K_2^{D} sont respectivement les constantes de vitesse d'hydrolyse du diester isopropylique en monoester aux pH 0, 0,3, 0,85 et 1,24.

Si l'on représente graphiquement (*fig.* 3 et 4) la variation, à pH constant, des logarithmes népériens des constantes de vitesse en fonction de l'inverse de la température absolue, on obtient, pour chaque diester une famille de droites sensiblement parallèles. Les constantes de vitesse varient donc avec la température conformément à la loi d'Arrhénius $\text{Log}\, K = a - (Q/RT)$, (Q, énergie d'activation; R, constante des gaz parfaits; T, température absolue). Les droites d'une même famille étant parallèles, l'énergie d'activation Q se trouve ne pas dépendre du pH, au moins dans l'intervalle considéré. Elle est de l'ordre de 27 300 cal/mole pour le diester propylique et de 26 800 cal/mole pour le diester isopropylique.

En résumé, l'hydrolyse des diesters propylique et isopropylique de l'acide *o*-phosphorique en les monoesters correspondants se fait suivant une réaction du premier ordre, dépendant d'une constante de vitesse dont la variation avec le pH et la température a été étudiée. Les résultats trouvés se présentent sous forme assez semblable à celle indiquée précédemment pour les amides de l'acide *o*-phosphorique.

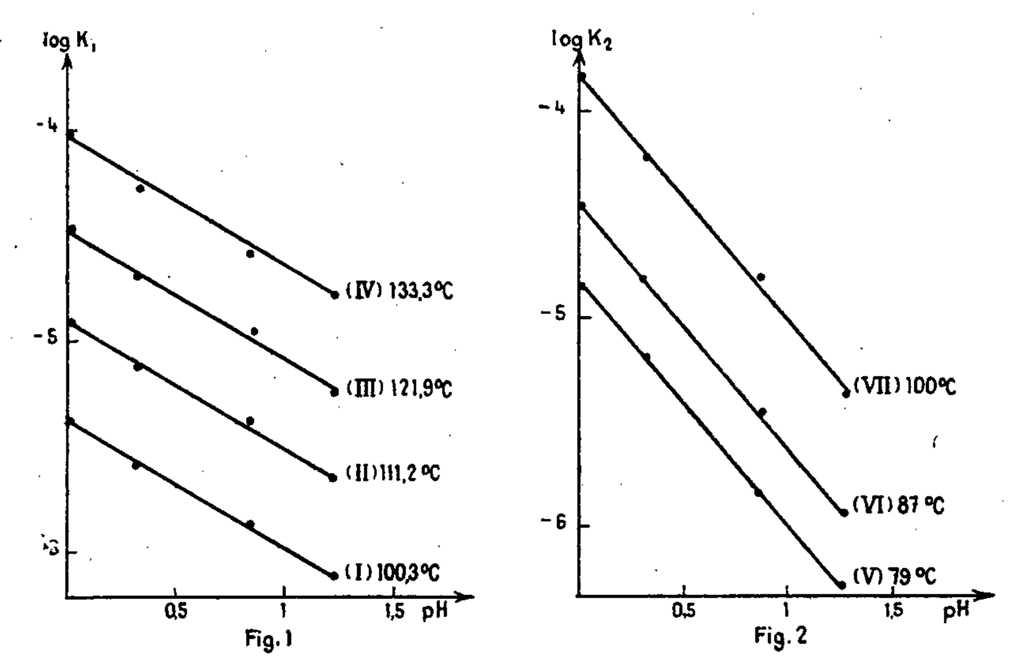


Fig. 1. — Dipropylphosphate : (I), (II), (III), (IV).
Courbes représentatives de log K_1^{I}, log K_1^{II}, log K_1^{III}, log K_1^{IV} en fonction du pH.

Fig. 2. — Diisopropylphosphate : (V), (VI), (VII).
Courbes représentatives de log K_2^{V}, log K_2^{VI}, log K_2^{VII} en fonction du pH.

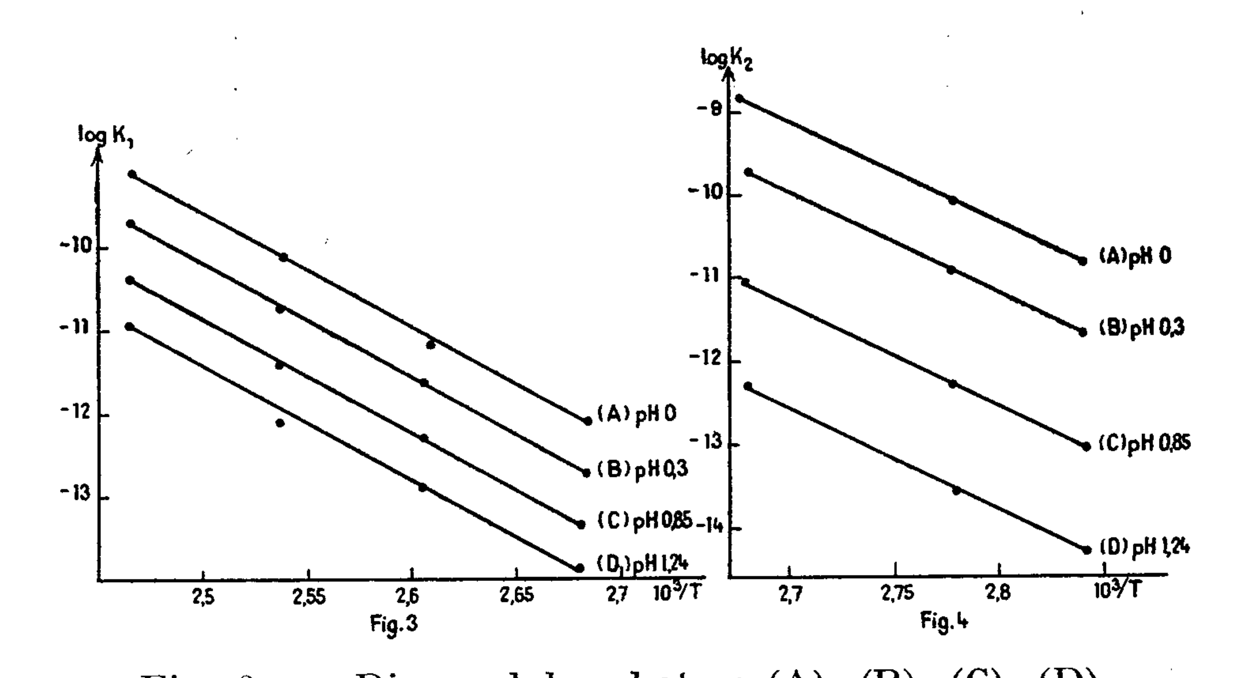


Fig. 3. — Dipropylphosphate : (A), (B), (C), (D).
Courbes représentatives de log K_1^{A}, log K_1^{B}, log K_1^{C}, log K_1^{D}
en fonction de l'inverse de la température absolue.

Fig. 4. — Diisopropylphosphate : (A), (B), (C), (D).
Courbes représentatives de log K_2^{A}, log K_2^{B}, log K_2^{C}, log K_2^{D}
en fonction de l'inverse de la température absolue.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) P. Chabrier et M. Sélim, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2730.
(2) M. Sélim et P. Leduc, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1187.
(3) M. Sélim et Thuong Nguyen Thanh, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2377.
(4) Thuong Nguyen Thanh et M. Sélim, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2724.
(5) C. A. Bunton, D. R. Llewellyn, K. G. Oldham et C. A. Vernon, *J. Chem. Soc.*, 1958, p. 3574.

(*Institut de Pharmacologie, Faculté de Médecine, Paris.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Colorants disazoïques dérivés de la triméthyl-2.3.3-indolénine.* Note (*) de MM. **Henri Wahl** et **François Émile Gault**, présentée par M. Marcel Delépine.

Préparation de disazoïques symétriques ou non dérivés de cette base ou de ses sels quaternaires.

Dans une Note précédente [1] nous avons montré que les sels de diazonium réagissent sur la triméthyl-2.3.3-indolénine ou sur ses sels quaternaires en donnant des colorants monoazoïques, alors que les autres bases hétérocycliques de la même série (méthyl-2-benzothiazole, méthyl-2-benzosélénazole, etc.) donnent directement des disazoïques [2]. Nous avons essayé de modifier les conditions opératoires en vue d'obtenir des colorants disazoïques, et nous avons constaté qu'il est possible, sous certaines conditions, de faire copuler deux molécules d'un sel de diazonium sur une seule molécule de triméthyl-2.3.3-indolénine ou de son sel quaternaire, pour former des colorants disazoïques, donnant avec l'acide sulfurique concentré des colorations bleues, violettes ou vertes, et dont la structure est prouvée par l'analyse et les propriétés, notamment par la formation de complexes métalliques.

Par exemple, si l'on ajoute une solution de chlorure de *p*-chlorophényldiazonium (I, Ar = *p*-Cl—C_6H_4—), préparée à partir de 38,3 g de *p*-chloraniline, à une solution de 23,9 g de triméthyl-2.3.3-indolénine dans 400 ml d'acétone, en présence de 80 ml de pyridine, on obtient un colorant rouge, cristallisant dans l'acétate d'éthyle en paillettes à reflets dorés, F 197°. Sa composition correspond à la formule $C_{23}H_{19}N_5Cl_2$ (P. M. 436), qui est celle d'un disazoïque. Calculé %, C 63,30; H 4,36; N 16,05; Cl 16,29; trouvé %, C 63,27; H 4,39; N 16,10; Cl 16,13; λ_M 464 mμ, ε $2{,}07.10^4$ (alcool).

La même réaction a lieu avec les sels de diazonium dérivés de l'aniline (I, Ar = C_6H_5) ou de la *p*-toluidine (I, Ar = CH_3—C_6H_4—); avec ces deux amines, la réaction s'effectue en remplaçant la pyridine par une solution aqueuse d'acétate de sodium.

Il est possible également d'effectuer cette réaction en deux temps, en préparant d'abord un monoazoïque, en dissolvant ce produit dans un mélange d'acétone et de pyridine, puis en ajoutant à cette solution un sel de diazonium. On peut donc ainsi préparer des disazoïques dissymétriques.

Par exemple, à une solution de 29,8 g du monoazoïque dérivé de la *p*-chloraniline (II, Ar = *p*-Cl—C_6H_4) dans 400 ml d'acétone et 100 ml de pyridine, on ajoute une solution de chlorure de phényldiazonium (II, Ar′ = C_6H_5—), préparée à partir de 9,3 g d'aniline. Il précipite un colorant rouge, cristallisant dans l'alcool à 95° en tablettes hexagonales à reflets dorés, F 160°. Sa composition correspond à la formule $C_{23}H_{20}N_5Cl$

(P. M. 401,5). Calculé %, C 68,74; H 4,98; N 17,43; Cl 8,84; trouvé %, C 69,42; H 4,94; N 17,58; Cl 8,78; λ_m 471 mμ, ε 2,0.10[4] (alcool).

Les colorants disazoïques méthylés à l'azote s'obtiennent par une méthode semblable, en utilisant un sel quaternaire de la triméthylindolénine. Par exemple, si l'on ajoute une solution de chlorure de *p*-chlorophényldiazonium (III, Ar = *p*-Cl—C_6H_4—), préparée à partir de 32 g de *p*-chloraniline à une solution de 35,6 g de méthylsulfate de tétraméthyl-1.2.3.3-indoléninium dans 250 ml d'eau, 500 ml d'acétone et 250 ml de pyridine, on obtient un colorant rouge foncé, recristallisant dans l'alcool à 95° en tablettes rectangulaires à reflets bleus, F 165°, et dont la composition correspond à la formule $C_{24}H_{21}N_5Cl_2$ (P. M. 450) qui est celle d'un disazoïque. Calculé %, C 64,00; H 4,67; N 15,56; Cl 15,78; trouvé %, C 64,36; H 4,83; N 15,42; Cl 15,69; λ_m 428 mμ, ε 3,25.10[4] (alcool).

Une réaction semblable a lieu avec les sels de diazonium dérivés de la *m*-nitraniline (III, Ar = *m*-O_2N—C_6H_4—) ou de la *p*-toluidine (III, Ar = *p*-CH_3—C_6H_4—); dans ces deux cas, on remplace la pyridine par de l'acétate de sodium. Le colorant disazoïque précédent donne par ébullition de sa solution alcoolique en présence de chlorure de cobalt hexahydraté un précipité cristallisé en plaquettes violettes, peu soluble dans les alcools, très soluble dans le chloroforme, d'un complexe de cobalt (Co trouvé 9,2 %) dont la structure est à l'étude.

D'après nos essais, la réaction de double copulation ne peut avoir lieu que si l'on se trouve en présence d'une quantité d'acétone suffisante pour

éviter la précipitation du monoazoïque. Il est d'ailleurs possible de remplacer l'acétone par un autre solvant neutre et miscible à l'eau, par exemple l'alcool ou le dioxanne. Ainsi se trouve étendue à cet hétérocycle la réaction de double copulation mise en évidence par Wahl et Le Bris (2) dans la série des benzothiazole, benzosélénazole, benzimidazole. Les solutions aqueuses des sels de ces nouveaux colorants donnent des teintures corsées jaunes ou orangées sur les fibres synthétiques, notamment sur l'« orlon ».

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 983.

(2) *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 631; cf. *Indus. Chim. Belge*, 1957, p. 166 à 176; *Bull. Soc. Chim.*, 1959, p. 343 à 348; *Comptes rendus du Symposium sur les matières colorantes*, Bâle, 1960 (sous presse).

(*École Nationale Supérieure des Industries chimiques, 1, rue Grandville, Nancy.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Participation transannulaire de la double liaison lors de l'acétolyse du p-bromobenzènesulfonate de cycloheptène-4 yle.* Note (*) de Mme **Geneviève Le Ny**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'acétolyse à 80° du *p*-bromobenzènesulfonate de cycloheptène-4 yle est nettement plus rapide que celle du composé saturé correspondant, et le produit obtenu est l'acétate de cis-bicyclo [3 : 2 : 1] octyle-2, la réaction s'effectuant avec participation transannulaire de la double liaison.

Nous avons poursuivi l'étude entreprise sur la réactivité de composés cyclaniques à fonction juxtacyclique ([1]), ([2]) en étudiant l'acétolyse de deux *p*-bromobenzènesulfonates (I à cycle hexagonal et II à cycle heptagonal) possédant une double liaison dans le cycle. Ces composés nous semblaient susceptibles de réagir avec participation transannulaire de la double liaison, et de conduire ainsi aux acétates bicycliques (III) et (IV).

CH_2OBS — I; CH_2OBS — II; $OCOCH_3$ — III

$BS = SO_2C_6H_4Br$

Fig. 1.

Nous avons effectivement observé que l'acétolyse du *p*-bromobenzènesulfonate (II) donne, avec un rendement supérieur à 95 %, un mélange d'acétates *saturés* contenant au moins 90 % d'acétate de cis-bicyclo [3 : 2 : 1] octyle-2 (IV). De plus une étude cinétique préliminaire a montré que la vitesse de solvolyse de ce composé est plus de trente fois supérieure à celle du *p*-bromobenzènesulfonate saturé correspondant.

La formation presque exclusive d'acétate bicyclique cis (IV) et l'augmentation de vitesse de réaction par rapport à celle du composé saturé correspondant sont compatibles avec la formation intermédiaire de l'ion (A) :

OBS, CH_2 — II $\xrightarrow{CH_3COONa}$ [A] $\longrightarrow$ $OCOCH_3$ — IV $\equiv$ $OCOCH_3$.

Fig. 2.

Par contre, le composé formé de façon presque exclusive lors de l'acétolyse du composé (I) est l'acétate de cyclohexène-3 yl méthyle, et si des produits bicycliques (qui résulteraient d'une réaction avec participation transannulaire de la double liaison : acétate de norbonyle (III) et norbornylène) se sont formés, leur rendement n'excède pas 0,5 % ([3]). D'autre part, la vitesse

de solvolyse de ce composé est proche de celle du composé saturé correspondant. Il n'y a donc pas, dans ce cas, participation transannulaire de la double liaison.

La distance entre le groupement CH_2 juxtacyclique et la double liaison peut être beaucoup plus courte dans le composé cycloheptènique (II) (1,75 Å environ) que dans le composé cyclohexénique (I) (2,9 Å environ), de plus l'orientation de ce groupement par rapport à la double liaison est beaucoup plus favorable. C'est ce qui explique sans doute le comportement différent de ces deux composés.

Il est intéressant de constater qu'une participation transannulaire de la double liaison peut s'effectuer en direction d'un carbone juxtacyclique et qu'elle provoque un accroissement de vitesse appréciable. Nous étudions actuellement la solvolyse d'autres composés cyclaniques insaturés pour voir à quel point la réaction que nous décrivons est généralisable et par là susceptible de rendre accessibles différents composés bicycliques.

Partie expérimentale. — *p-bromobenzènesulfonate de cycloheptène-4 yl méthyle.* — Le cycloheptène-4 yl méthanol ($C_8H_{14}O$, $É_{19}$ 116,5-117°) a été obtenu par réduction, par $LiALH_4$, de l'acide cycloheptène-4 carboxylique préparé à partir de la cyclopentanone par la méthode de Stork et Landesman [4]. Le *p*-bromobenzènesulfonate ($C_{14}H_{17}O_3SBr$, F 53,5-55°) a été préparé par la méthode habituelle avec un rendement de 83 %.

La solvolyse a été effectuée en ampoule scellée à 80°, la solution dans l'acide acétique étant 3,7 M en *p*-bromobenzènesulfonate et 4,07 M en acétate de sodium. Après chauffage pendant 5 h (10 demi-temps de réaction environ) la solution acétique a été neutralisée par la lessive de soude puis épuisée par l'éther.

Après distillation de l'éther la solution, contenant exclusivement des acétates saturés, a été hydrogénolysée par $LiALH_4$. Le rendement, calculé à partir du *p*-bromobenzènesulfonate, est de 95 %. L'alcool obtenu [après sublimation : F 178-180° (tube scellé)] a été oxydé [5] en cétone saturée correspondante [après sublimation : F 118-121° (tube scellé)].

M. Walborsky a accepté de comparer (par spectres infrarouges et points de fusion) l'alcool et son *p*-nitrobenzoate (F 79-81°), la cétone et sa semicarbazone (F 176-178°) avec ses échantillons authentiques [6]. Il nous a confirmé que l'alcool est constitué par plus de 90 % de cis-bicyclo (3 : 2 : 1) octanol-2 et que la cétone est la bicyclo [3 : 2 : 1] octanone-2.

p-bromobenzènesulfonate de cyclohexène-3 yl méthyle. — L'acide cyclohexène-3 carboxylique, qui nous a été fourni par M. Rumpf, a été réduit par $LiALH_4$ en cyclohexène-3 yl méthanol.

Le *p*-bromobenzènesulfonate ($C_{13}H_{15}O_3SBr$, F 34-35,5°) a été préparé avec un rendement de 75 %.

La solvolyse a été effectuée en ampoule scellée à 100°, la solution dans l'acide acétique étant 0,138 M en *p*-bromobenzènesulfonate et 0,156 M en

acétate de sodium. Après chauffage pendant 48 h (10 demi-temps de réaction environ) la solution acétique a été neutralisée par la lessive de soude et épuisée à l'éther. Le mélange obtenu a été étudié par comparaison avec des échantillons authentiques de norbornylène et d'acétate de norbornyle fournis par M. Rassat.

Il a été vérifié que l'acétate de norbornyle est stable dans les conditions de l'expérience; dans les mêmes conditions le norbornylène se transforme en grande partie en acétate de norbornyle.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) H. Felkin et G. Le Ny, *Bull. Soc. Chim.*, 1957, p. 1169.

(2) G. Le Ny, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 368.

(3) R. S. Bly et H. L. Dryden (*Chemistry and Industry*, 1959, p. 1287) avaient obtenu des résultats comparables lors de l'acétolyse du méthanesulfonate.

(4) G. Stork et H. K. Landesman, *J. Amer. Chem. Soc.*, 78, 1956, p. 5129.

(5) A. Gagneux et C. A. Grob, *Helv. Chim. Acta.*, 42, 1959, p. 1753.

(6) A. A. Youssef, M. E. Baum et H. M. Walborsky, *J. Amer. Chem. Soc.*, 81, 1959, p. 4709.

(*C. N. R. S., 25, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14e.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Additions nucléophiles de la phénylbenzylcétone sur les cétones α-éthyléniques.* Note (*) de MM. **Robert Chapurlat** et **Jacques Dreux**, présentée par M. Marcel Delépine.

La réaction d'addition de Michaël entre la phénylbenzylcétone et diverses cétones α-éthyléniques conduit à des δ-dicétones et à des cyclohexénones.

Pour compléter une étude précédente ([1]) sur la réactivité des groupements méthylènes α-cétoniques, nous avons fait réagir sur la phénylbenzylcétone quelques cétones α-éthyléniques :

$$C_6H_5{-}CH_2{-}CO{-}C_6H_5 + \begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\!\!>\!C{=}C(R''){-}CO{-}CH_3 \xrightarrow{OH^\ominus} C_6H_5{-}CH(CO{-}C_6H_5){-}C(R)(R'){-}CH(R''){-}CO{-}CH_3 \rightarrow \text{cyclohexénone } (C_6H_5, C_6H_5, R, R', R'')$$

Nous avons engagé successivement avec la cétone aromatique, la butène-1 one-3 ($R = R' = R'' = H$), la méthyl-2 butène-1 one-3 ($R = R' = H$; $R'' = CH_3$), l'oxyde de mésityle ($R = R' = CH_3$; $R'' = H$) et la benzylidène-acétone ($R = C_6H_5$; $R' = R'' = H$).

La phénylbenzylcétone étant solide à température ordinaire, nous avons modifié les conditions opératoires décrites dans notre précédente Note ([1]); à un mélange de 0,25 mole de cétone α-éthylénique et de 0,25 mole de phénylbenzylcétone, on ajoute 3 ml de potasse méthanolique 3 N et l'on chauffe à reflux pendant 30 mn après la fin de l'exothermicité (avec la benzylidène-acétone et la méthyl-2 butène-1 one-3 le reflux est exclu, le mélange se prenant en masse immédiatement).

Le produit de la condensation est une δ-dicétone, sauf dans le cas de l'oxyde de mésityle qui conduit directement à la cyclohexénone correspondante.

Pour la benzylidène-acétone et l'oxyde de mésityle, nous avons repris les essais de Ionescu et Popescu ([2]) : à la solution froide dans l'alcool absolu du mélange équimoléculaire des réactifs, on ajoute une solution d'éthylate de sodium (5,6 g de sodium pour 46 g de phénylbenzylcétone) et on laisse réagir une dizaine d'heures, nous obtenons les mêmes produits qu'avec la potasse méthanolique, mais les rendements sont excellents alors que les auteurs indiquaient, pour l'oxyde de mésityle notamment, des rendements très faibles.

Les différentes cétones α-éthyléniques ont donné avec la phénylbenzylcétone les résultats exprimés dans le tableau I.

TABLEAU I.

Cétones α-éthyléniques.	R.	R'.	R''.	Produits obtenus.	Rdt %.
Butène-1 one-3	H	H	H	Phényl-5 benzoyl-5 pentanone-2 (I)	71
Méthyl-2 butène-1 one-3	H	H	CH_3	Méthyl-3 phényl-5 benzoyl-5 pentanone-2 (II)	15
Oxyde de mésityle	CH_3	CH_3	H	Diméthyl-5.5 diphényl-3.4 cyclohexène-2 one-1 (III)	24
				Diméthyl-5.5 diphényl-3.4 cyclohexène-2 one-1 (III)	95 (*)
Benzylidène-acétone	C_6H_5	H	H	Diphényl-4.5 benzoyl-5 pentanone-2 (IV)	35
				Diphényl-4.5 benzoyl-5 pentanone-2 (IV)	90 (*)

(*) Avec l'éthylate de sodium.

Les δ-dicétones ont été ensuite cyclodéshydratées en faisant passer un courant d'acide chlorhydrique sec dans une solution méthanolique de la δ-dicétone ([3]) (*voir* tableau II).

TABLEAU II.

δ-dicétones de départ.	Cyclohexénones obtenues.	Rdt %.
Phényl-5 benzoyl-5 pentanone-2 (I)	Diphényl-3.4 cyclohexène-2 one-1 (I*a*)	80
Méthyl-3 phényl-5 benzoyl-5 pentanone-2 (II)	Méthyl-6 diphényl-3.4 cyclohexène-2 one-1 (II*a*)	75
Diphényl-4.5 benzoyl-5 pentanone-2 (IV)	Triphényl-3.4.5 cyclohexène-2 one-1 (IV*a*)	69

Phényl-5 *benzoyl*-5 *pentanone*-2 (I), $C_{18}H_{18}O_2$. — Solide; F 170° (acétate d'éthyle).

Diphényl-3.4 *cyclohexène*-2 *one*-1 (I *a*), $C_{18}H_{16}O$. — Solide; F 99° (méthanol).

Méthyl-3 *phényl*-5 *benzoyl*-5 *pentanone*-2 (II), $C_{19}H_{20}O_2$. — Solide; F 176° (méthanol).

Méthyl-6 *diphényl*-3.4 *cyclohexène*-2 *one*-1 (II *a*), $C_{19}H_{18}O$. — Solide; F 78° (méthanol).

Diméthyl-5.5 *diphényl*-3.4 *cyclohexène*-2 *one*-1 (III), $C_{20}H_{20}O$. — Solide; F 128° (méthanol), en accord avec Ionescu et Popescu ([2]).

Diphényl-4.5 *benzoyl*-5 *pentanone*-2 (IV), $C_{24}H_{22}O_2$. — Solide; F 177° (benzène), Ionescu et Popescu ([2]) signalent, pour le même composé, F 209-211°, il s'agit vraisemblablement de diastéréoisomères.

Triphényl-3.4.5 *cyclohexène*-2 *one*-1 (IV *a*), $C_{24}H_{20}O$. — Solide; F 188° (benzène), produit déjà décrit par Knoevenagel ([3]).

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) J. COLONGE, J. DREUX et R. CHAPURLAT, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 252.

(2) M. V. IONESCU et O. G. POPESCU, *Bull. Soc. Chim.*, 51, 1932, p. 1215.

(3) E. KNOEVENAGEL, *Ann. Chem.*, 281, 1894, p. 25.

(*Faculté des Sciences, Institut de Chimie*, 93, *rue Pasteur, Lyon*, 7e.)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur un acide cyclohexanol-diacétique.* Note de M. **Léonce Laloi**, Mlle **Nicole Noël** et M. **Henry Gault**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les auteurs ont décrit, dans une Communication antérieure, un mode de préparation, d'une part des acides méta- et para-cyclohexane-diacétiques basé sur l'hydrogénation catalytique des acides *m*- et *p*-phénylène-diacétiques et, d'autre part, d'un certain nombre de leurs dérivés fonctionnels (1), (2). Ces diacides cycliques pouvant être utilisés, entre autres, à des fins de polycondensation ultérieure, il a paru intéressant de chercher à introduire dans leurs cycle des fonctions susceptibles de donner lieu à des phénomènes de pontage, en particulier la fonction alcool. En fait, se limitant tout d'abord à ce dernier cas, c'est-à-dire à celui des acides hydroxy-cyclohexane-diacétiques, ils ont appliqué aux acides hydroxy-phénylène-diacétiques la technique d'hydrogénation suivie pour les acides phénylène-diacétiques eux-mêmes.

L'objet de cette Note est d'exposer les résultats que nous avons obtenus au cours de notre étude, tout d'abord de la préparation de l'acide hydroxy-2 benzène-diacétique-1.4 et consécutivement, de son hydrogénation en acide cyclohexanol-2 diacétique-1.4.

1. Acide hydroxy-2 benzène-diacétique-1.4. — Le principe de la préparation de ce diacide-phénol repose sur la diazotation de l'ester amino-2 benzène-diacétique-1.4, selon la réaction

$$\underset{(1)}{C_2H_5}OCO-CH_2-\overset{\overset{(2)}{NH_2}}{C_6}H_3-CH_2-CO\,\underset{(4)}{OC_2H_5} \xrightarrow{NO_2H} \underset{(1)}{C_2H_5}OCO-CH_2-\overset{N=N-OH}{C_6}H_3-CH_2-CO\,\underset{(4)}{OC_2H_5}$$

En fait, l'aminoester, déjà préparé par Ruggli (3), ne pouvant être dissous dans les acides minéraux sans se cycliser en acide oxindolyl-acétique qui précipite dans le milieu, nous avons dû procéder à la diazotation par la méthode inversée que nous décrivons ci-après :

Une solution aqueuse du *sel de sodium* de l'acide amino-2 benzène-diacétique-1.4 (55 g, 1 mole) et de nitrite de sodium (15 g, 1 mole) est versée dans 300 ml d'acide sulfurique à 45 %. L'addition est effectuée rapidement (10 mn), la température étant maintenue entre 0 et 5° par une agitation vigoureuse de la solution sulfurique refroidie dans un mélange glace-sel. De cette manière, il ne se forme pas de précipité d'acide oxindolyl-acétique au cours de la réaction et l'on obtient une solution limpide, orangée, du diazoïque recherché. Ce dernier est décomposé, dès la fin de l'addition, par chauffage à 80-100° de sa solution sulfurique, préalablement additionnée d'une petite quantité (1 à 2 g) d'urée; il se dégage rapidement la quantité théorique d'azote et le diacide-phénol est laissé précipiter jusqu'au lendemain. Rdt 65 %.

Il convient d'effectuer la diazotation en milieu sulfurique assez concentré (45 %), le rendement en phénol se trouvant très notablement abaissé par la dilution (Rdt 30 % dans l'acide sulfurique à 25 %).

Purifié par recristallisation dans l'eau, l'acide hydroxy-2 benzène-diacétique-1.4 est un solide jaune pâle, F 246°, soluble dans l'alcool éthylique, très soluble dans l'eau à l'ébullition, très peu à froid. ($C_{10}H_{10}O_5$, calculé %, C 57,20; H 4,76; trouvé %, C 56,63-56,68; H 4,79-4,88. M par titrimétrie : calculé 210; trouvé 213-215.)

Par ébullition de sa solution dans l'alcool sulfurique à 10 %, nous avons pu préparer son ester éthylique, liquide épais jaune clair ($É_{0,1}$ 188°; n_D^{20} 1,518) dont la solution alcoolique donne, avec le chlorure ferrique, une coloration verte fugace virant peu à peu au rouge-brun ($C_{14}H_{18}O_5$, calculé %, C 63,16; H 6,77; trouvé %, C 62,83-62,79; H 6,60-6,62. I_S : calculé 421; trouvé 447-452).

A la température élevée à laquelle il distille, ce diester-phénol (*a*) peut, très souvent, se lactoniser par élimination d'une molécule d'alcool suivant la réaction

On recueille alors l'ester-lactone (*b*) ($É_{0,02}$ 160°) sous la forme d'un liquide qui se solidifie en une masse cristalline (F 42° du mélange benzène-hexane; n_D^{45} 1,513; surfondu n_D^{20} 1,522). Il ne donne plus aucune coloration avec le chlorure ferrique, en solution alcoolique.

Déterminations analytiques. — $C_{12}H_{12}O_4$, calculé %, C 65,45; H 5,45; trouvé %, C 65,59; H 5,59. I_S : calculé 501; trouvé 494-504.

C'est ce diester-phénol, sous sa forme lactonique, qui nous a servi de point de départ pour préparer le dérivé cyclohexanique correspondant.

2. Acide cyclohexanol-2 diacétique-1.4. — Alors que nous avions pu hydrogéner catalytiquement les acides et les esters phénylène-diacétiques en présence de faibles quantités d'oxyde de platine, nous ne sommes parvenus à effectuer l'hydrogénation de l'ester hydroxy-2 benzène-diacétique-1.4 qu'en utilisant une proportion relativement importante de catalyseur.

Exemple : Une solution de 21 g d'ester hydroxy-2 benzène-diacétique-1.4 (forme lactonisée) dans 100 ml d'acide acétique est agitée, avec 4,5 g d'oxyde de platine, dans un appareil à hydrogénation sous pression ordinaire; l'absorption est théorique au bout de 3 h. Après séparation du platine et évaporation du solvant, on distille l'ester-lactone cyclanique ($É_{0,02}$ 152°, n_D^{25} 1,487) qu'on recueille sous la forme d'une huile jaune clair ($C_{12}H_{18}O_4$, calculé %, C 63,71; H 7,96; trouvé %, C 63,49; H 7,99).

Par saponification de cet ester, nous avons obtenu le diacide-alcool correspondant, mais également sous la forme lactonique; c'est un solide

blanc, très soluble dans l'alcool, peu soluble dans l'eau froide, dans laquelle on peut le recristalliser. F 168-170°.

Déterminations analytiques. — $C_{10}H_{14}O_4$, calculé %, C 60,06; H 7,08; trouvé %, C 60,24; H 7,21. M par titrimétrie : calculé 198; trouvé 187-204-205 (cet acide lactone se comporte comme un diacide au cours du titrage par la soude).

Hydrazide. — L'action, sur l'ester-lactone, de l'hydrate d'hydrazine à l'ébullition, conduit au dihydrazide-alcool qui, recristallisé dans l'eau, se présente sous la forme de petits cristaux blancs brillants (F 247°; $C_{10}H_{20}O_3N_4$, calculé N 22,95 %; trouvé N 23,06 %).

(1) H. GAULT et L. LALOI, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 123.

(2) Brevet français déposé par le C. N. R. S. aux noms de H. Gault et L. Laloi, le 10 juillet 1957, P. V. 743.554.

(3) P. RUGGLI, *Helv. Chim. Acta*, 18, 1935, p. 620.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Contribution à l'étude de la réaction à l'haloforme. Influence de la réversibilité des stades de l'halogénation.* Note de Mmes **Micheline Charpentier** et **Arlette Skrobek**, présentée par M. Marcel Delépine.

La (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone conduit normalement en présence d'hypobromite de sodium à l'acide de coupure correspondant et au bromoforme. Par contre, cette même cétone est intégralement récupérée après avoir été mise en présence d'hypoiodite de sodium. Au contact de ce même réactif, la (phényl-1 cyclohexyl) monoiodométhylcétone conduit à un mélange de cétone non iodée et à l'acide (phényl-1 cyclohexyl) glycolique. Ces résultats sont discutés.

Dans des publications antérieures, nous avons vu que plusieurs causes peuvent être responsables de l'échec de la réaction à l'haloforme, réaction s'effectuant en deux phases :

$$R—CO—CH_3 \underset{\text{plusieurs stades}}{\overset{\text{XOH (NaOH)}}{\rightleftharpoons}} R—CO—CX_3 \qquad (1^{re}\ \text{phase})$$

$$R—CO—CX_3 \underset{\text{plusieurs stades}}{\overset{\text{NaOH}}{\longrightarrow}} R—COOH + CHX_3 \qquad (2^{e}\ \text{phase})$$

$$X = Cl,\ Br\ \text{ou}\ I.$$

Une réaction à l'haloforme peut échouer :

1° A cause de l'encombrement stérique du radical R empêchant soit l'énolisation de la cétone méthylée (premier stade de l'halogénation) ([1]), soit la coupure de la cétone trihalogénée ([2]).

2° A cause de la prépondérance de la réaction transpositrice en compétition conduisant à un α-hydroxyacide ([3]).

Cependant, nous ne pouvons pas attribuer à ces divers phénomènes la différence de comportement de la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone (I) vis-à-vis de l'hypobromite de sodium et de l'hypoiodite de sodium. Nous avons constaté, en effet, que la réaction à l'haloforme bien que lente a lieu normalement avec l'hypobromite de sodium : l'acide phényl-1 cyclohexane carboxylique (II) a été isolé avec un rendement de 60 % (40 % de la cétone de départ ont été récupérés). Par contre, la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone après avoir été mise dans les mêmes conditions en présence d'hypoiodite de sodium, est intégralement récupérée.

$$\circlearrowleft^{\text{IONa (NaOH)}} \ C_6H_{10}(CO—CH_3)(C_6H_5)\ (I) \xrightarrow[\text{NaOH}]{\text{BrONa}} C_6H_{10}(COOH)(C_6H_5)\ (II)$$

Comment interpréter ces résultats ?

Le rôle déterminant de l'halogène sur le déroulement de la réaction à l'haloforme n'est pas évident. En effet, d'après le mécanisme généralement admis, l'halogénation d'une cétone est déterminée par la vitesse de forma-

tion de l'ion énolate correspondant, la fixation de l'halogène par cet ion étant beaucoup plus rapide que sa formation [4] :

$$\underset{(A)}{R-CO-CH_3} \underset{}{\overset{\text{Lent}}{\underset{\text{NaOH}}{\rightleftharpoons}}} R-CO-\overset{-}{C}H_2 \overset{\text{Rapide}}{\underset{\text{XOH}}{\rightleftharpoons}} \underset{(B)}{R-CO-CH_2X}$$

$X = Cl$, Br ou I.

En tenant compte de cette conception, les comportements différents de la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone ne pouvaient être attribués qu'à la position de l'équilibre (A) $\rightleftharpoons$ (B) : dans le cas de l'hypoiodite, cet équilibre serait très en défaveur de la cétone monoiodée.

C'est pour vérifier cette interprétation que nous avons placé dans les conditions de la réaction à l'iodoforme la (phényl-1 cyclohexyl) monoiodométhylcétone (III). Nous avons obtenu ainsi 60 % de cétone (I), mais à côté de cette cétone, nous avons isolé 40 % de l'acide (phényl-1 cyclohexyl) glycolique (V) provenant d'une transposition de la cétone (IV).

(I) (60 %) [cyclohexane avec $CO-CH_3$ et C_6H_5] ← (III) [cyclohexane avec $CO-CH_2I$ et C_6H_5]

→ [(IV) cyclohexane avec $CO-CHI_2$ et C_6H_5] → (V) (40 %) [cyclohexane avec $CH.OH-COOH$ et C_6H_5]

La formation de cet α-hydroxyacide confirme nos constatations antérieures sur la possibilité de transposition de la cétone dihalogénée intermédiaire dans les conditions de la réaction à l'haloforme [3].

La confrontation des résultats obtenus, d'une part avec la cétone méthylée (I), et d'autre part avec la cétone monoiodée (III) montre bien que l'équilibre (A) $\rightleftharpoons$ (B) est nettement en défaveur de la cétone (III) [5]. En effet, s'il n'en était pas ainsi, la cétone méthylée (I) en présence d'hypoiodite de sodium aurait conduit à une certaine proportion de l'α-hydroxyacide (V).

En conclusion, l'équilibre entre la cétone monohalogénée et la cétone méthylée peut être en faveur de cette dernière. Ce phénomène, qui doit être plus fréquent avec l'hypoiodite qu'avec les autres hypohalogénures (des différentes cétones α-halogénées, les cétones iodées sont celles qui donnent le plus facilement la réaction inverse de l'halogénation), peut donc être responsable de l'échec de la réaction à l'haloforme.

PARTIE EXPÉRIMENTALE. — *Préparation de la (phényl-1 cyclohexyl) iodométhylcétone* $C_{14}H_{17}OI$: Action de INa sur la cétone bromée correspondante.

a. Préparation de la (phényl-1 cyclohexyl) bromométhylcétone $C_{14}H_{17}OBr$. — 0,1 mol de brome dilué dans 120 ml de $CHCl_3$ est ajouté avec agitation à 0,1 mol de (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone [préparée par action de CH_3MgBr sur la (chloro-1 cyclohexyl) phénylcétone] [6] dissoute dans 250 ml d'éther anhydre. La cétone bromée est isolée à la manière habituelle. $É_2$ 154-158°. $F < 35°$.

b. Action de INa. — 0,1 mol de cétone bromée et 0,2 mol de INa sec sont dissoutes dans 150 ml d'acétone anhydre et laissées 15 h en contact. La cétone iodée est isolée à la manière habituelle, cristallisée dans l'alcool à 95°. F 35-40° (microscope).

Action de BrONa *sur la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone.* — 3 g (0,0148 mol) de (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone sont additionnés à la solution d'hypobromite : 180 ml d'eau, 30 ml de lessive de soude (0,296 mol) et 3,4 ml de Br_2 (0,062 mol). Le tout est agité mécaniquement et porté à 50° (à la température ambiante la réaction est très lente) pendant 6 h. Les fractions neutre et acide sont séparées à la manière habituelle. 2 g d'acide (phényl-1 cyclohexane) carboxylique sont isolés. F 122° (identique à un échantillon authentique).

Action de IONa *sur la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone.* — La réaction est effectuée exactement dans les mêmes conditions que la précédente (concentration et température). Les fractions neutres (Rdt 100 %) ont un spectre infrarouge identique à celui de la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone initiale.

Action de IONa *sur la (phényl-1 cyclohexyl) iodométhylcétone.* — La réaction est effectuée exactement dans les mêmes conditions que la précédente (concentration et température). Les fractions neutres (Rdt 60 %) purifiées par chromatographie en phase gazeuse (colonne imbibée avec du polyphényl éther) ont un spectre infrarouge identique à celui de la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone. L'acide (phényl-1 cyclohexyl) glycolique a été isolé (Rdt 40 %).

Identification de l'acide (phényl-1 cyclohexyl) glycolique. — $C_{14}H_{18}O_3$ F 120-123°,5 (microscope). Traité par le tétraacétate de plomb, conduit à la (phényl-1 cyclohexyl) formaldéhyde identifiée par rapport à un échantillon authentique (semi-carbazones).

(1) M. Charpentier, H. Rivière, A. Skrobek et B. Tchoubar, *Bull. Soc. Chim.*, 1960, p. 1444. (7).

(2) R. Johnson et R. C. Fuson, *J. Amer. Chem. Soc.*, 57, 1935, p. 919.

(3) M. Charpentier et A. Skrobek, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1391.

(4) Bibliographie *in* R. P. Bell, *Acid-Base Catalysis*, p. 135 à 143, Oxford University Press. 1941.

(5) Cependant, il n'est pas exclu que le comportement de la cétone (I) différent suivant la nature de l'halogène, puisse également être dû à la vitesse d'halogénation; cette dernière serait plus lente avec l'acide hypoiodeux qu'avec l'acide hypobromeux. Nous comptons confirmer ou infirmer cette hypothèse en effectuant une étude supplémentaire de l'halogénation de la (phényl-1 cyclohexyl) méthylcétone.

(6) O. Sackur, *Comptes rendus*, 208, 1939, p. 1092.

(7) M. Tiffeneau, P. Weill, J. Gutmann et B. Tchoubar, *Comptes rendus*, 201, 1935, p. 2777.

(C. N. R. S., 25, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14e.)

GÉOLOGIE. — *Données nouvelles sur la géologie de la partie mexicaine de la presqu'île du Yucatan.* Note (*) de MM. **Jacques Butterlin** et **Federico Bonet**, présentée par M. Charles Jacob.

Mise en évidence d'une série éocène à prédominance calcaire, s'étendant sur plus de la moitié de la superficie de la partie mexicaine de la presqu'île du Yucatan, avec une microfaune de l'Éocène inférieur, moyen et peut-être supérieur.

L'examen de la carte géologique du Mexique au 1/2 000 000e publiée en 1956, à l'occasion de la 20e session du Congrès Géologique international, montre qu'à cette date la partie mexicaine de la presqu'île du Yucatan était considérée comme une immense table calcaire, de topographie karstique et dont l'âge était compris entre le Miocène et le Récent. Une étroite bande de roches éocènes était, toutefois, indiquée au Sud-Est, dans la presqu'île qui limite vers l'Est la baie de Chetumal. Son indication était basée sur la supposition, non vérifiée, d'une prolongation dans cette zone des calcaires éocènes signalés par Flores ([1]) dans la région septentrionale du Honduras britannique.

A la suite de la découverte, dans la partie nord-centrale de la presqu'île du Yucatan, d'affleurements isolés de calcaires d'âge éocène moyen, les uns recueillis par R. Robles Ramos et étudiés par F. Bonet ([2]), les autres rencontrés par J. Butterlin ([3]), les deux auteurs de cette Note ont décidé de réaliser, sous le patronage de l'Institut de Géologie de l'Université de Mexico et du Ministère des Ressources hydrauliques, une reconnaissance complète de cette région du Mexique, en vue de l'établissement d'une nouvelle carte géologique.

Les études de terrain et de laboratoire sont pratiquement achevées et le Mémoire, où seront consignés les principaux résultats obtenus, doit être publié en 1961.

Les observations faites peuvent être condensées dans la colonne stratigraphique suivante :

— *Calcaires à Mollusques :* Pléistocène-Récent;
— *Formation Carrillo Puerto :* Miocène supérieur-Pliocène;
— *Formation Estero Franco :* Miocène supérieur-Pliocène
(représente probablement un équivalent latéral de la formation Carrillo Puerto, ou d'une partie de celle-ci) :
— *Formation Bacalar :* Miocène supérieur;
— *Formation Chichen Itza*, divisée en trois membres :
membre Chumbec : Éocène moyen (partie supérieure) ou Éocène supérieur;
membre Pisté : Éocène moyen;
membre Xbacal : Éocène inférieur;

— *Formation Icaiché :* Paléocène (?)-Éocène inférieur (?) [4];

— Paléocène ou Éocène indifférencié.

La donnée nouvelle la plus importante tirée de cette étude est la mise en évidence d'une formation éocène (formation Chichen Itza) qui fournit une microfaune caractéristique de grands Foraminifères :

— membre Chumbec : *Operculina willcoxi* (Heilprin), *Lepidocyclina* (*Pliolepidina*) *pustulosa* H. Douvillé, *Amphistegina* sp. cf. *A. parvula* (Cushman) et, peut-être, *Lepidocyclina* (*Pliolepidina*) *macdonaldi* Cushman. Cette microfaune est caractéristique de la partie supérieure de l'Éocène moyen et de l'Éocène supérieur;

— membre Pisté : *Dictyoconus floridanus* (Cole), *D. walnutensis* (Carsey), *D. americanus* (Cushman), *Pseudochrysalidina floridana* Cole, *Lituonella floridana* Cole, *Coskinolinoides jamaicensis* Cole, *Clavulina floridana* Cole, *Gunteria floridana* (Cushman et Ponton), *Eorupertia* sp. ou *Carpenteria* sp., *Amphistegina* sp. cf. *A. parvula* (Cushman), *Pyrgo* sp., *Triloculina* sp., *Quinqueloculina* sp. Il faut signaler également la présence de nombreuses Algues du genre *Clypeina*. Cette microfaune est tout à fait caractéristique de l'Éocène moyen du bassin des Caraïbes. Elle est, toutefois, remarquable par la prédominance des formes des familles Orbitolinidæ et Miliolidæ et par l'absence de représentants des familles Discocyclinidæ, Lepidocyclinidæ et Nummulitidæ, généralement abondants dans l'Éocène moyen des régions caraïbes, y compris les zones orientales du Mexique;

— membre Xbacal : *Operculina catenula* (Cushman et Jarvis) [5], *Discocyclina* (*Discocyclina*) *cristensis* (Vaughan), *Borelis floridanus* Cole, *Helicostegina dimorpha* (?) Barker et Grimsdale, *Coskinolina elongata* Cole, *Nonion* sp., *Dictyokathina* sp. (?). L'âge éocène inférieur de cette microfaune a été établi par une étude récente des auteurs [6].

La formation Chichen Itza présente une extension géographique considérable. En fait, les roches éocènes constituent, dans leur ensemble, *plus de la moitié* de la superficie de la partie mexicaine de la presqu'île du Yucatan, en particulier les régions centrale et sud-ouest de l'État du Yucatan, la partie occidentale du Territoire du Quintana Roo et la majeure partie de l'État du Campèche. Paradoxalement, les affleurements supposés d'âge éocène dans la carte géologique du Mexique de 1956, signalés plus haut, paraissent, par contre, appartenir à la formation Carrillo Puerto, plus récente.

Du point de vue tectonique, les roches éocènes, essentiellement calcaires, sont généralement horizontales ou seulement légèrement inclinées, contrairement à ce qui se passe dans les autres régions du bassin des Caraïbes où elles sont généralement très plissées [7]. Toutefois, au fur et à mesure qu'on se déplace vers le Sud et le Sud-Ouest, leur pendage augmente et, dans l'État de Campèche, elles forment de véritables plis, assez serrés, de direction Ouest-Nord-Ouest—Est-Sud-Est.

En raison du caractère tabulaire du Yucatan et du faible pendage général des terrains éocènes, il n'est pas possible d'en préciser l'épaisseur par des études de géologie superficielle.

La découverte d'une importante série éocène (et paléocène) dans la presqu'île du Yucatan présente un intérêt considérable. Elle repose, en particulier, le problème de la présence de gisements de pétrole dans cette région, dont les caractères géologiques se raccordent maintenant beaucoup plus harmonieusement à ceux des régions voisines (État de Tabasco et Guatemala) où il existe des gisements de pétrole probablement importants.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) *Bull. Amer. Ass. Petr. Geol.*, 36, nº 2, 1952, p. 404-409.

(2) *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr.*, 11, nºs 1-2, 1959, p. 1-12.

(3) *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr.*, 10, nºs 9-10, 1958, p. 531-570.

(4) Suivant l'habitude des géologues du Continent Américain, les auteurs distinguent le Paléocène en un Système indépendant de l'Éocène.

(5) Le nom d'espèce utilisé est celui adopté par Cole. Selon NAGAPPA, *Paleontology*, 1959, p. 156-160, on devrait plutôt l'appeler *Ranikothalia bermudezi* (Palmer).

(6) *Paleontologia Mexicana*, nº 7, 1960, p. 1-18.

(7) J. BUTTERLIN, 1956, C. N. R. S., Paris, 453 pages.

GÉOLOGIE. — *Les faciès du Lias inférieur et moyen de la bordure sud-est du massif vendéen.* Note (*) de M. **Jean Gabilly**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Le Lias moyen a été affecté par une importante dolomitisation. Le faciès *caillebotine* (Sinémurien) passe latéralement vers l'Est à la partie supérieure des calcaires dolomitiques jaune-nankin. La silicification du Lias présente son maximum d'intensité en bordure du massif vendéen. La mise en place de la minéralisation a été contrôlée par le type de porosité des roches encaissantes et par la tectonique.

Le Lias moyen bordant au Sud la Gâtine-de-Parthenay se présente à la Boissière, Mazières, Champdeniers, etc. sous forme de dix à douze niveaux plus ou moins lenticulaires de poudingues et de grès grossiers, arkosiques, alternant avec des calcaires gréseux. Il débute par un conglomérat de base de 10 à 30 cm de puissance généralement moins épais que l'assise suivante de poudingue qui peut atteindre jusqu'à 60 cm. On y observe souvent une tendance à la stratification entrecroisée et, de bas en haut, un granuloclassement global des détritiques. En s'éloignant du massif ancien, on constate un passage graduel de ce faciès conglomératique à des calcaires gréseux, généralement dolomitiques avec joints irréguliers, ondulés, parfois réticulés; ils présentent encore quelques intercalations de poudingues, surtout vers la base, mais renferment aussi des cherts et même parfois de véritables silex. La dolomitisation du Lias moyen présente une ampleur considérable puisqu'elle se retrouve à Ligugé, Latillé, Sanxay, Soudan, Saint-Maixent, Thorigné, etc. ainsi qu'à Champagné-Saint-Hilaire ([1]), Fressines ([2]) et Melle ([3]). L'aspect *saccharoïde* classique de l'étage et son altération superficielle en *pierre rousse* sont dus à cette fréquence de la dolomie. Au microscope les cristaux de dolomite de la *pierre rousse* apparaissent entourés d'un mince liséré ferrugineux qui subsiste parfois seul dans les zones silicifiées en donnant des fantômes de de rhomboèdres microquartzifiés. La silicification semble donc postérieure à la dolomitisation.

Dans les environs de Champdeniers, le Lias moyen repose sur une série qui ne dépasse pas 5 m de puissance et que les carriers de la région appellent *caillebotine*. Il s'agit d'un calcaire sublithographique, bleuté à gris de fumée, parfois siliceux ou légèrement dolomitique, en petits bancs de 10 cm au maximum, séparés par des joints très minces parfois argileux, faiblement ondulés et souvent stylolithiques. Au sommet, se trouve une surface ravinée et l'on y observe des fissures subverticales de quelques centimètres de large, sur 15 à 60 cm de profondeur, qui ont été comblées par le conglomérat de base du Lias moyen. A peu près au centre de la série, se trouve cependant un banc plus épais atteignant 65 cm de puissance, limité, au sommet, par une surface taraudée et présentant, à la base, d'assez nombreuses oolithes

et pseudoolithes partiellement hématisées; celles-ci se retrouvent également, à plusieurs niveaux, vers la base de la formation. Au-dessus de ce banc repère, sur 20 à 30 cm, se situe un niveau assez fossilifère avec *Spiriferina lata*, mut. *oppeli* Rollier, *Spiriferina* cf. *alpina* Oppel et *Terebratula* sp. A plusieurs autres niveaux, s'observent des surfaces taraudées, surmontées par de minces joints fossilifères avec : *Entolium hehli* d'Orb., *Pentacrinus* sp., des pistes de vers, des Polypiers et, plus rarement, des bancs d'huîtres. D'après Corroy ([4]), *S. lata*, mut. *oppeli* Rollier se trouve répartie dans tout le Sinémurien lorrain. Sa présence semble donc déjà indiquer pour la *caillebotine* un âge posthettangien et confirme son attribution au Sinémurien par A. Fournier ([5]) qui a signalé, tout à fait à la base, *Ammonites conybeari* Sow. Dans toute la région, de Saint-Maixent à Niort et à Champdeniers, la *caillebotine* avec tous les fossiles signalés plus haut, repose sur une assise de calcaire oolithique gris très clair avec passées lumachelliques et intercalation d'un ou de plusieurs niveaux lenticulaires d'argiles vertes signalées à Fressines par G. Mathieu ([2]); la puissance de cette oolithe varie de 20 cm à 2 m suivant la hauteur atteinte par le front de dolomitisation des cargneules et des calcaires dolomitiques jaune-nankin situés au-dessous et généralement attribués à l'Hettangien ([6]). Tout à fait au sommet de la formation, il y a également, de façon sporadique, 10 à 20 cm d'une oolithe plus grossière. Grâce au niveau repère à *Spiriferina* et aux intercalations d'argile verte, on peut mettre en évidence, vers le Sud-Est, un passage latéral de la *caillebotine* à la partie supérieure d'un Lias inférieur complètement dolomitisé et de faciès *jaune-nankin*. A Cherveux, les calcaires sublithographiques commencent à devenir dolomitiques; à Ricou, au Nord-Est de Sainte-Néomaye, ils présentent, surtout vers la base, des intercalations de dolomies, mais on retrouve encore le niveau à *Spiriferina*. Par contre à Charcogné, à l'Est de Fressines, toute la série surmontant les argiles vertes, qui conserve pourtant la même épaisseur qu'à Ricou, est dolomitisée et constituée uniquement par le calcaire dolomitique jaune-nankin. Il existe donc un parallélisme remarquable entre le Lias inférieur de la bordure vendéenne et celui de la bordure du Limousin ([3]), ([7]); dans les deux cas on retrouve un niveau oolithique pouvant être en partie masqué par la dolomitisation et qui est encadré par deux assises à grain fin, calcaires ou dolomitiques. Lorsque la dolomitisation est complète, la partie supérieure du calcaire jaune-nankin, qui ne constitue d'ailleurs qu'un faciès d'altération superficielle, doit être attribuée au Sinémurien. La découverte par P.-A. Gillard d'une faune sinémurienne à Champagné-Saint-Hilaire ([8]) confirme cette interprétation qui correspond aussi à une hypothèse de J. Welsch ([6]).

Les faciès énumérés ci-dessus ont subi secondairement une silicification particulièrement importante en bordure du *horst* granitique du Fouilloux. De Menigoute à Vausseroux, s'étend une bande de Lias complètement silicifiée, souvent réduite à des buttes-témoins. Même l'Infralias s'y présente sous forme d'arkoses à ciment siliceux alors que son faciès normal, à l'inté-

rieur du Seuil du Poitou, est meuble et argilosableux. La silicification s'accompagne d'une minéralisation en barytine avec fluorine moins abondante et galène rare. Vers le Sud, la silicification n'est plus toujours aussi complète mais la barytine est, par contre, très fréquente (Calvé, Saint-Georges); plus loin encore, la silicification n'est totale qu'à proximité des failles et se limite, le plus souvent, à une invasion partielle du ciment laissant intacte, en particulier, la dolomite; par contre, la fréquence des indices sulfurés augmente à partir de Verruyes, Mazières, la Boissière. La silicification paraît postérieure à la dolomitisation; elle semble au contraire à peu près contemporaine de la minéralisation puisque les indices minéralisés se trouvent aussi bien inclus dans la masse des jaspéroïdes que dans les diaclases de ceux-ci. En ce qui concerne la mise en place de la minéralisation telle qu'elle se présente actuellement, on peut mettre en évidence deux facteurs qui l'ont concurremment contrôlée : d'abord le type de porosité des roches et, ensuite, à un moindre degré, la tectonique. Les faciès poreux, sables infraliasiques et poudingues du Lias moyen, lorsqu'ils sont minéralisés, sont en effet finement et régulièrement imprégnés dans leur masse. Les roches diaclasées ou caverneuses (calcaires et dolomies) présentent au contraire une minéralisation de géodes, de diaclases et de joints de stratification. On constate, d'autre part, une fréquence plus grande des indices au-dessous des horizons imperméables : marnes bleues du Lias supérieur ou argiles du sommet de l'Infralias. La mise en place des indices de minéralisation semble donc s'être effectuée à partir de solutions dont les caractères hydrogéologiques devaient être assez voisins de ceux de l'actuelle nappe infratoarcienne. D'autre part, la minéralisation sous son aspect actuel paraît assez tardive, puisque la tectonique tertiaire ([2]), de direction sud-armoricaine, l'a, dans une certaine mesure, contrôlée. Enfin, à ce contrôle par la porosité et la tectonique, s'ajoute, au moins en ce qui concerne la silicification, un maximum de fréquence et d'intensité à proximité immédiate du massif ancien de la Vendée.

(1) PH. GLANGEAUD, *Bull. Cart. géol. Fr.*, 8, n° 50, 1895, p. 43.
(2) G. MATHIEU, *Bull. Soc. géol. Fr.*, (5), 18, 1948, p. 469.
(3) O. HORON et J. LOUGNON, 85e *Cong. Soc. Sav.*, *Colloq. Lias Fr.*, Preprint., Chambéry, 1960, p. 5 et 11.
(4) *Ann. Paléont.*, 16, 1927, p. 27.
(5) *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), 16, 1888, p. 126.
(6) J. WELSCH, *Bull. Soc. géol. Fr.*, (4), 3, 1903, p. 814 et 938.
(7) J. GABILLY, *Bull. Cart. géol. Fr.*, 54, n° 250 A, 1956, p. 99.
(8) *Bull. Cart. géol. Fr.*, 39, n° 197, 1938, p. 105.

(*Institut de Géologie et d'Anthropologie préhistorique, Poitiers.*)

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE. — *Première évaluation du débit solide total de la Loire.* Note (*) de MM. **Léopold Berthois** et **Jean Morize**, présentée par M. Jacques Bourcart.

Une première évaluation du débit solide total de la Loire a été faite en comparant les apports en suspension à Mauves-sur-Loire à l'ensemble des dépôts sédimentaires en Estuaire.

Le débit solide d'un cours d'eau se compose d'éléments fins transportés en suspension et d'éléments grossiers qui sont déplacés sur le fond par roulement ou saltation.

Le dosage des apports en suspension peut être fait avec une bonne approximation si les prélèvements d'eau sont suffisamment fréquents et si le débit du fleuve est correctement mesuré chaque jour. Au cours des recherches entreprises par l'un de nous (L. B.) depuis 1952 en collaboration avec le Service Maritime des Ponts et Chaussées de Nantes, ces deux conditions essentielles ont été réalisées par des mesures journalières du débit de la Loire à Montjean et des prélèvements d'eau fréquemment exécutés à Mauves-sur-Loire (L. Berthois, 1955) [1].

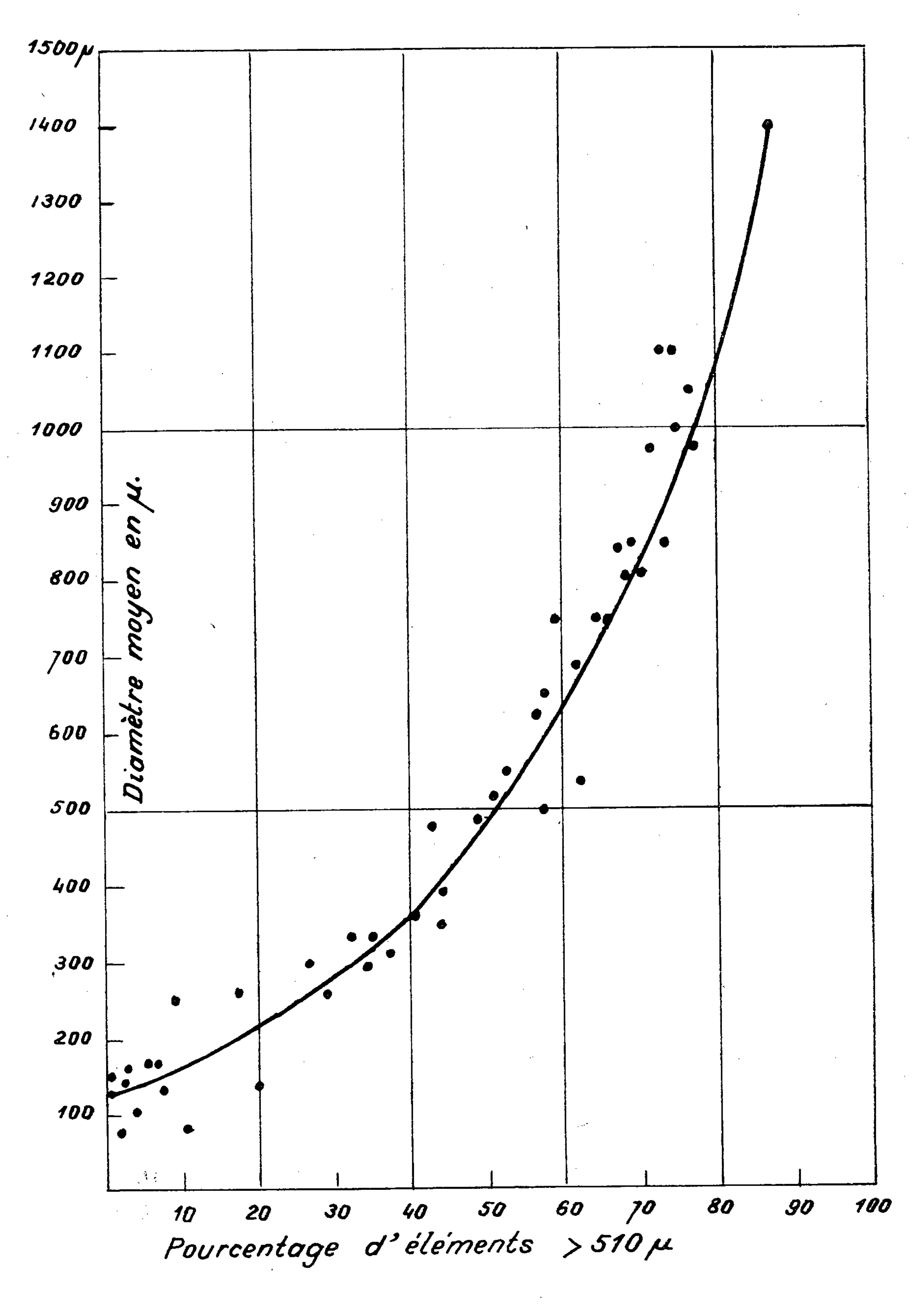
L'examen des matériaux en suspension fait apparaître la nécessité de distinguer deux fractions : la première contient des sédiments très fins ($< 60\ \mu$) tandis que la deuxième est constituée par une fraction plus grossière de quartz, feldspath et mica dont les diamètres s'échelonnent entre $60\ \mu$ et 1 mm (L. Berthois, 1955).

L'étude granulométrique des sédiments grossiers transportés en suspension, principalement pendant les périodes de grand débit du fleuve, a montré que le pourcentage en poids des grains de diamètre supérieur à $510\ \mu$ est pratiquement négligeable mais que les éléments $< 510\ \mu$ peuvent être tous transportés en suspension.

De nombreux essais d'évaluation directe du tonnage des matériaux grossiers déplacés sur le fond par roulement ou saltation n'ont donné aucun résultat satisfaisant. Tous les types de nasse à sable qui ont été expérimentés en Loire depuis 1952 ont dû être abandonnés l'un après l'autre; soit à cause de leur fonctionnement défectueux, soit à cause de la difficulté de mise en œuvre ou de contrôle lorsque la vitesse du courant atteint ou même dépasse 2,50 m/s, ce qui est fréquent pendant les périodes de grand débit qui sont les plus intéressantes à étudier.

Cette impossibilité d'une évaluation directe des apports grossiers nous a incité à utiliser une méthode statistique basée sur l'étude d'ensemble des sédiments prélevés au Carottier Kullenberg et par sondages tubés dans les régions de Belle-Ile et de Donges-Saint-Nazaire-Paimbœuf (L. Berthois, 1957) [2].

Le dépouillement des courbes granulométriques des sédiments de 27 carottages Kullenberg et de 10 sondages tubés de la région de Paimbœuf nous a permis de construire la courbe ci-dessous donnant le



pourcentage d'éléments > 510 μ en fonction du diamètre moyen du sédiment; à l'aide de cette base de calcul nous avons établi un pourcentage pondéré des éléments > 510 μ inclus dans chaque couche sédimentaire (en multipliant le pourcentage par l'épaisseur de la couche) le total des produits obtenus pour chaque carotte, divisé par la longueur totale de la carotte a donné son pourcentage particulier d'ensemble.

La réunion de tous les résultats de la région de Belle-Ile montre que le pourcentage des éléments $> 510\,\mu$ dans l'ensemble des dépôts est de 34,07 %. Pour la région de Donges-Saint-Nazaire on obtient 26,21 %.

La variation des pourcentages obtenus à Belle-Ile (amont de Paimbœuf) et à Donges-Saint-Nazaire incite à penser qu'à l'aval de cette dernière région le pourcentage des éléments grossiers sera moins élevé, tandis qu'il augmentera très probablement entre Paimbœuf et Nantes.

En première approximation nous adopterons la valeur de 25 % d'éléments grossiers dans l'ensemble sédimentaire, soit environ 33 % par rapport au tonnage des éléments fins transportés en suspension.

En appliquant cette méthode de calcul au débit solide transporté en suspension pendant les trois dernières années nous avons obtenu les résultats suivants :

	Débit solide transporté en suspension. Total des fractions $< 60\,\mu$ et $> 60\,\mu$.	Débit solide transporté par roulement ou saltation 33 %.	Débit solide total.
Année 1957......	621 390 320 kg	205 058 805 kg	825 449 125 kg
» 1958......	1 163 940 963	384 100 518	1 548 041 481
» 1959......	482 377 885	159 184 702	641 562 587

La fraction grossière atteint un pourcentage élevé qui dépasse parfois les proportions obtenues en étudiant les engravements de certains barrages algériens. Toutefois, elle est très inférieure aux maximums signalés dans l'Ouvrage fondamental de M. Parde (1949) ([3]).

Les résultats actuels ne sont pas définitifs, ils seront complétés et précisés à mesure que progresseront les études sédimentologiques dans l'estuaire de la Loire, mais ils montrent déjà l'importance considérable des apports fluviaux en estuaire.

(*) Séance du 3 octobre 1960.
([1]) L. Berthois, *Comptes rendus*, 211, 1955, p. 814.
([2]) L. Berthois, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 558.
([3]) M. Parde, *Potamologie*, 1 et 2, 1949, Université de Grenoble.

GRAVIMÉTRIE. — *Gravité normale à l'extérieur de la Terre.* Note (*) de M. **Vladimir Baranov**, présentée par M. Paul Tardi.

Formule en termes finis pour la gravité normale « prolongée » au-dessus de la surface terrestre. Emploi des coordonnées sphéroïdales.

Le calcul de la gravité à l'extérieur de la Terre se réduit à un problème de dérivée oblique très voisin d'un problème de Neumann. Grâce à des réductions, il est possible d'évaluer la pesanteur sur un ellipsoïde de référence E et de confondre la verticale avec la normale à E. Après avoir résolu le problème de Neumann relatif à E, il sera aisé de vérifier la solution par un calcul direct de g sur la surface topographique T. Le problème étant linéaire, il est permis de considérer la pesanteur comme une somme de termes d'importance décroissante : $g =$ pesanteur normale $\gamma +$ anomalie régionale à l'échelle des continents et des océans + anomalies locales, ces dernières ne nécessitant pas de tenir compte de l'ellipticité.

Pour prolonger les deux premiers termes, passons aux coordonnées sphéroïdales (C. S.) définies par les formules

$$(1)\qquad \begin{cases} x = \sqrt{\rho^2 + h^2}\sin\theta\cos\varphi, \\ y = \sqrt{\rho^2 + h^2}\sin\theta\sin\varphi, \\ z = \rho\cos\theta, \end{cases}$$

où $h^2 = a^2 - b^2$ est la distance focale, a et b étant le grand et le petit demi-axe de E, Oz, axe de rotation, φ, la longitude; l'angle θ n'est pas la colatitude, il est lié à la latitude λ par la relation $\operatorname{tg}\theta = (a/b)\operatorname{cotg}\lambda$.

Soit U le potentiel de la gravité, Q la fonction dont dérive le champ centrifuge, $W = Q + U$ le potentiel de la pesanteur. En cherchant, par la méthode de séparation des variables, une solution périodique, nulle à l'infini, de l'équation $\Delta U = 0$, on trouve

$$(2)\qquad W = \frac{1}{3}\omega^2(\rho^2 + h^2)[1 - P_2(\cos\theta)] + \text{Ré}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{n} C_n^k R_n^k(\rho)\, e^{-ik\varphi} P_n^k(\cos\theta),$$

où C_n^k est un coefficient complexe indéterminé, P_n^k la fonction de Legendre, R_n^k une fonction réelle liée à la fonction de Legendre de deuxième espèce par la relation

$$(3)\qquad R_n^k(\rho) = \left(\frac{i}{h}\right)^{n+1} Q_n^k\left(\frac{i\rho}{h}\right).$$

Si l'on s'arrange pour que E soit très voisin d'une surface de niveau, $\overrightarrow{\text{grad}}\,W$ sera très sensiblement normal à E et g pourra être confondu avec la composante normale, dont l'expression en C. S. est

$$-g(\rho, \theta, \varphi) = \left(\overrightarrow{\text{grad}}\,W\right)_\rho = \frac{\sqrt{\rho^2 + h^2}}{\sqrt{\rho^2 + h^2\cos^2\theta}}\frac{\partial W}{\partial \rho}.$$

En dérivant (2) par rapport à ρ on obtient

$$(4)\qquad \frac{\sqrt{\rho^2+h^2\cos^2\theta}}{\sqrt{\rho^2+h^2}}g(\rho,\theta,\varphi) = -\frac{2}{3}\omega^2\rho[1-P_2(\cos\theta)] + \text{Ré}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{n}C_n^k T_n^k(\rho)\,e^{-ik\varphi}P_n^k(\cos\theta),$$

avec l'abréviation

$$(5)\qquad T_n^k(\rho) = -\frac{d}{d\rho}R_n^k(\rho).$$

Cette série est valable pour tout ρ y compris $\rho = b$. Si l'on connaît la fonction $g(b, \theta, \varphi)$ sur E, les coefficients peuvent être calculés séparément grâce à la condition d'orthogonalité.

Considérons deux principaux termes de (2) et de (4) et posons $\rho = b$, pour obtenir le potentiel normal W_0 et γ sur E. Il vient

$$(6)\qquad W_0 = \left[\frac{1}{3}a^2\omega^2 + C_0R_0(b)\right] + \left[-\frac{1}{3}a^2\omega^2 + C_2R_2(b)\right]P_2(\cos\theta),$$

$$(7)\qquad \frac{D(\theta)}{a}\gamma = \left[-\frac{2}{3}b\,\omega^2 + C_0T_0(b)\right] + \left[\frac{2}{3}b\,\omega^2 + C_2T_2(b)\right]P_2(\cos\theta),$$

où

$$(8)\qquad D^2(\theta) = a^2\cos^2\theta + b^2\sin^2\theta.$$

On sait que l'expression (6) conduit à la formule de Somigliana. Pour calculer les coefficients, il est inutile d'utiliser les conditions d'orthogonalité, car les caractéristiques de E sont connues. Il suffit donc de poser $\theta = 0$ et $90°$. On obtient

$$(9)\qquad \begin{cases} C_0T_0(b) + C_2T_2(b) = \gamma_p, \\ C_0T_0(b) - \frac{1}{2}C_2T_2(b) = \frac{b}{a}(1+c)\gamma_e, \end{cases}$$

avec $c = \omega^2 a/\gamma_e$. Ces équations donnent C_0 et C_2, si h est connu. Sinon, il faut définir E en écrivant

$$(10)\qquad C_2R_2(b) = \frac{1}{3}a^2\omega^2$$

pour rendre W_0 constant sur E.

En utilisant les valeurs internationales

$$\gamma_p = 983{,}215,\qquad \gamma_e = 978{,}049;$$
$$a = 6{,}378388.10^8,\qquad b = 6{,}356912.10^8,\qquad c = \frac{1288{,}36}{1}$$

on trouve

$$C_0T_0(b) = 979{,}831,\qquad C_2T_2(b) = 3{,}390.$$

Or, de (3) et de (5) on tire

$$T_0(b) = \frac{1}{a^2},\qquad T_2(b) = \frac{1}{h^4}\left(2+\frac{b^2}{a^2}\right) - \frac{3b}{h^5}\operatorname{arctg}\frac{h}{b}.$$

Finalement on obtient $C_0 = 145750.h^2$, $C_2 = 186807.h^4$. En portant ces valeurs dans (4) et en ne conservant que les termes principaux, on obtient

$$(11)\quad \frac{\sqrt{\rho^2+h^2\cos^2\theta}}{\sqrt{\rho^2+h^2}}\gamma(\rho,\theta) = -\frac{2}{3}\omega^2\rho[1-P_2(\cos\theta)] + \frac{145\,750.h^2}{\rho^2+h^2} + 186\,807\left[\frac{3\rho^2+2h^2}{\rho^2+h^2} - \frac{3\rho}{h}\operatorname{arctg}\frac{h}{\rho}\right]P_2(\cos\theta),$$

avec

$$h^2 = 0,2735039.10^{16}.$$

Cette formule donne la pesanteur normale en dehors de T. On supprimera le premier terme pour avoir la gravité.

Ajoutons que la valeur du potentiel normal sur E est $W_0 = 6263,9.10^8$.

(*) Séance du 4 juillet 1960.

MÉTÉOROLOGIE. — *Le gradient vertical de température dans les champs barotropes.* Note de MM. **Antonio Gião** et **Jean Roulleau**, transmise par M. André Danjon.

On montre par un raisonnement nouveau que le gradient vertical de température dans un champ barotrope ne peut prendre que quatre valeurs dont la plus importante est la moitié du gradient adiabatique classique.

Nous avons signalé [1] que le gradient thermique vertical d'une atmosphère barotrope ne pouvait prendre que des valeurs bien déterminées. L'importance météorologique de ce résultat nous a conduits à établir celui-ci par un raisonnement nouveau, qui fait l'objet de cette Note, dont les notations sont les mêmes que celles de la Note précitée.

Considérons un champ quelconque de pression, de température et d'entropie. Dans le voisinage d'un point arbitraire A de ce champ, les isosurfaces de ces trois variables peuvent *a priori* être disposées de façon que n'importe laquelle d'entre elles soit située dans l'angle aigu des deux autres. Trois dispositions sont donc possibles :

1. La surface isobare est comprise dans l'angle aigu des surfaces isotherme et isentrope.

Soit Ax la tangente en A à l'intersection de la surface isobare et d'un plan vertical. Par suite même de la définition de l'entropie, on a

$$\left(\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right)\Big/\left(\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x}\right)=\frac{c_p}{\mathrm{T}}. \qquad (1)$$

Cette relation reste évidemment valable lorsque l'atmosphère devient barotrope. La direction transversale s de x par rapport au champ de température et d'entropie est définie par

$$\frac{\partial\Phi}{\partial s}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x}=-\frac{\partial\Phi}{\partial x}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial s};$$

en conséquence d'après (1) on a

$$\frac{\partial\Phi}{\partial s}=-\frac{c_p}{\mathrm{T}}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial s}. \qquad (2)$$

Cette transversale, par suite même de sa définition, devient normale aux surfaces quand le champ devient barotrope.

Mais le rapport des dérivées $(\partial\Phi/\partial l)/(\partial \mathrm{T}/\partial l)$ où l est une direction non confondue avec les surfaces, est indépendant de l, dans le cas de barotropie.

En particulier, si l se confond avec la coordonnée verticale z, on a, par suite de (2)

$$\frac{\partial\Phi}{\partial z}=-\frac{c_p}{\mathrm{T}}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial z}. \qquad (3)$$

Mais d'autre part, en associant à (3) l'expression bien connue

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{c_p}{T}\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{g}{T}, \tag{4}$$

on obtient immédiatement

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{2c_p}.$$

2. Considérons maintenant les deux autres cas possibles *a priori* : *a.* surface isotherme dans l'angle aigu des surfaces isentrope et isobare; *b.* surface isentrope dans l'angle aigu des surfaces isobare et isotherme. Dans le cas *a* la direction transversale *s* est définie par la relation

$$\frac{\partial \Phi}{\partial s}\frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x}\frac{\partial P}{\partial s},$$

x étant tangent à la surface isotherme, tandis que dans le cas *b* elle est définie par

$$\frac{\partial T}{\partial s}\frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{\partial T}{\partial x}\frac{\partial P}{\partial s},$$

x étant ici tangent à la surface isentrope.

Le raisonnement fait dans le cas 1 peut être répété *mutadis mutandis* pour trouver les rapports $(\partial\Phi/\partial z)/(\partial P/\partial z)$ et $(\partial T/\partial z)/\partial P/\partial z)$ qui permettent d'obtenir, par la relation (4)

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{2g}{c_p}$$

dans le cas *a* et

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{g}{c_p}$$

dans le cas *b*.

3. En ajoutant aux valeurs du gradient vertical, ainsi déterminées, la valeur adiabatique classique $-g/c_p$, qui correspond à une entropie spatialement constante, on aura finalement le « spectre » suivant des valeurs possibles du gradient vertical dans un champ barotrope :

$$-\frac{2g}{c_p}; \quad -\frac{g}{c_p}; \quad \boxed{-\frac{g}{2c_p}}; \quad \frac{g}{c_p}.$$

Comme les gradients suradiabatiques et les inversions de température correspondent à des conditions anormales, on voit que la valeur encadrée est la plus importante. En d'autres termes : le gradient thermique vertical dans un champ barotrope normal est la moitié du gradient adiabatique classique. On conçoit facilement que cette importante condition restrictive sur la structure des champs barotropes doit avoir de nombreuses conséquences en Météorologie dynamique, que nous avons étudiées en détail ailleurs ([2]).

([1]) A. GIÃO et J. ROULLEAU, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 2407.

([2]) A. GIÃO et J. ROULLEAU, *Le champ de température dans quelques types de mouvements atmosphériques* [*Mémorial de la Météorologie Nationale*, n° 47, Paris (sous presse)].

PALÉONTOLOGIE. — *Observations relatives au processus d'évolution des sillons chez les Crustacés Décapodes Macroures.* Note (*) de Mme **Sylvie Secretan**, présentée par M. Jean Piveteau.

Nous avons proposé, dans une précédente Note ([1]) une interprétation des sillons des Astacoures et une identification de leurs segments. L'application aux autres Macroures de cette méthode d'anatomie comparée confirme cette identification (à une exception près) par l'observation qu'entraîne la notion suivante :

« L'évolution des segments céphalothoraciques, puis leur coalescence se serait faite à l'intérieur d'une carapace insegmentée. »

Cette carapace aurait pu être rattachée au corps à la manière de celle des Leptostracés et son origine bivalve est suggérée, pour les Astacoures, par le sillon longitudianl médio-dorsal des *Erymaïdæ* qui persiste chez les actuels tel *Homarus*.

Elle peut aussi être le résultat du développement d'un « bouclier tergal » et n'avoir été d'abord réunie au corps que dans la région médio-dorsale, ce que suggère l'aspect des Palinoures ancestraux.

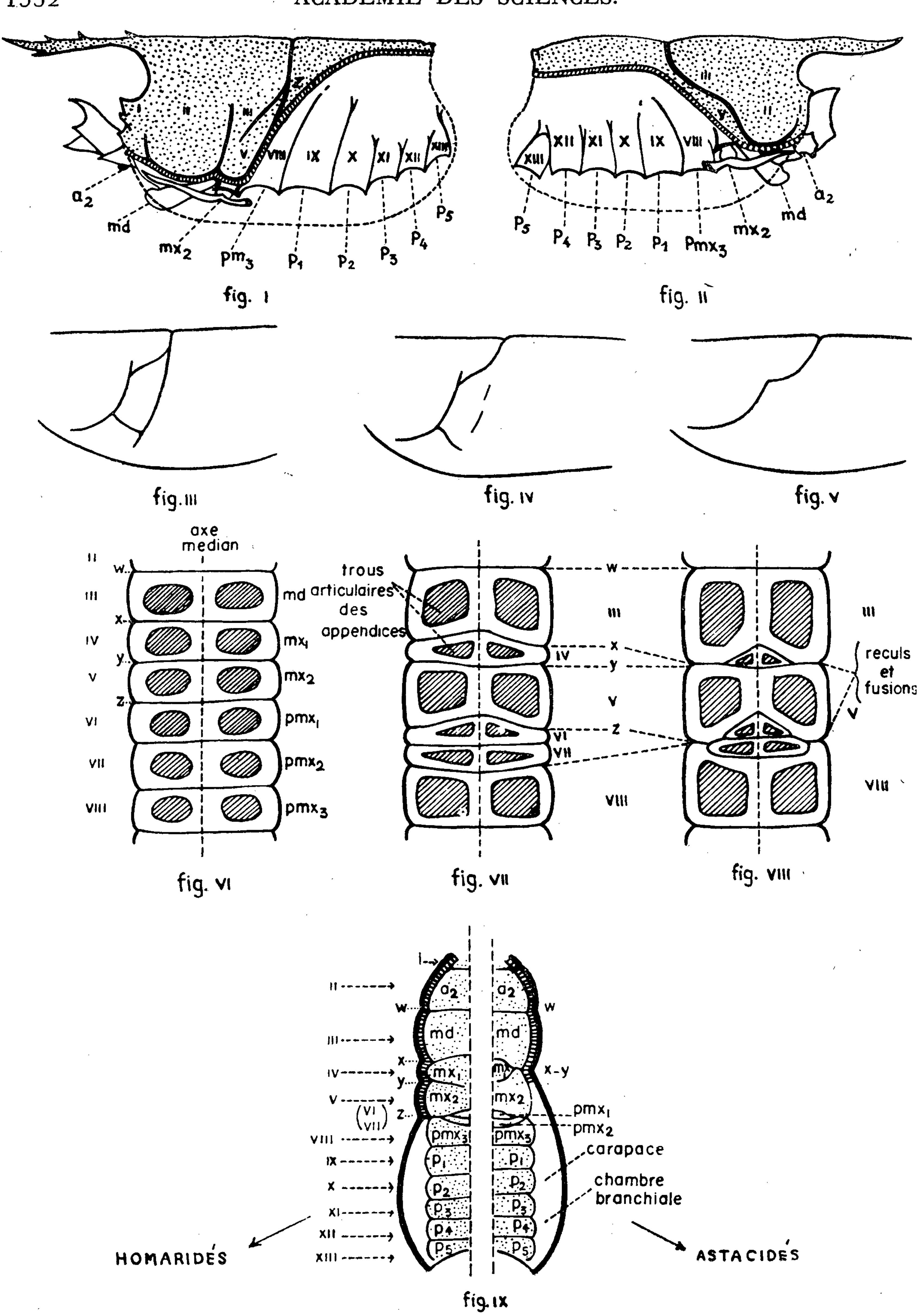
Mais, dans l'un et l'autre cas, c'est à l'intérieur de cette carapace insegmentée que le corps partiellement libre de l'animal aurait subi les transformations selon le processus schématisé dans notre première Note ([1]).

Les modifications morphologiques des segments totalement ou partiellement acquises, la carapace aurait commencé à se souder latéralement au corps, et sa plasticité encore suffisante lui aurait fait épouser le relief des segments céphaliques, et, par suite, accuser les sillons qui les séparent (W, X, Y, Z, précédemment décrits).

Au niveau du dernier de ces segments, la présence des branchies ne permettant pas à la carapace de joindre le corps, celle-ci reste libre, et par conséquent sans traces segmentaires. Par contre, sous le branchiostège, ces traces segmentaires thoraciques demeurent sur les flancs de l'animal.

Sur un *Nephrops* dont on a découpé la partie libre de la carapace, on voit la continuité des segments (IV, VI et VII exceptés, *voir* plus loin), visibles sur la carapace là où elle fait corps avec l'animal, et sur la paroi branchiale interne là où la carapace en était décollée (*fig.* 1).

Que la trace des sillons sur la carapace soit le résultat d'une coalescence plus ou moins poussée entre la carapace insegmentée et le corps de l'animal semble trouver une confirmation dans l'observation de fossiles de l'Aptien et de l'Albien d'Angleterre (g. *Hoploparia*) qui conduisent aux formes Astacidiennes (*fig.* 3, 4 et 5). En effet, chez eux, nous trouvons une transition depuis les formes où le sillon postérieur Z est très marqué à celles où il est totalement absent. Or, le dernier segment céphalique V, invisible sur la carapace de celui des fossiles dont la morphologie est semblable



à celle des Astcaidés, nous le retrouvons sous le branchiostège de l'*Astacus* actuel, où, en avant des segments thoraciques apparaît, porteur de son appendice mx 2, le dernier segment céphalique, non adhérent à la carapace et soudé intimement au segment suivant (*fig.* 2).

Sur le *Nephrops* nous constatons que le sillon Z, marqué sur la carapace, correspond bien à la limite postérieure du segment maxillaire, ainsi qu'à la limite postérieure de coalescence du corps et de la carapace. Son prolongement inférieur délimite la chambre prébranchiale et accompagne l'appendice mx 2. Le scaphognatite est protégé par la prolongation de carapace libre qui s'étend en avant de cette limite.

Chez *Astacus*, le sillon Z n'étant plus en contact avec la carapace, il n'y a plus trace de ce sillon sur cette dernière, non plus que de celle de la séparation entre la chambre branchiale et la chambre prébranchiale.

Migration latérale des segments. — Étant en mesure d'identifier les segments ou du moins leurs traces, que ce soit sur la carapace ou en dessous d'elle, nous constatons qu'il manque toujours, chez les fossiles comme chez les actuels, la trace d'un ou de deux d'entre eux : en effet, entre le segment mandibulaire III et le quatrième segment thoracique IX (celui du premier péréiopode) il devrait y avoir cinq segments et il n'y en a jamais que trois, au maximum chez les fossiles, dont un très incomplet, et deux chez les actuels.

Or la dissection et l'observation de l'endophragme comme celle des orifices articulaires, en vue ventrale, des appendices, montre que trois de ces derniers s'articulent en des points proches de l'axe médian du corps et que leurs parois articulaires n'affleurent pas les flancs de l'animal : ce sont les appendices mx 1, pmx 1 et pmx 2, refoulés, en quelque sorte, vers l'intérieur et réduits. Le dessin qui schématise la progression de ce phénomène (*fig.* 6, 7 et 8), en montrant la migration latéro-antérieure des segments dont la fonction des appendices ne nécessite qu'une musculature plus faible et par conséquent un volume moindre, explique le rapprochement de deux segments de part et d'autre d'un ou de deux segments intercalaires et la fusion de sillons qui en résulte latéralement.

L'application de ce schéma entraîne une modification de la première interprétation que nous avons donnée des traces du segment IV par rapport à V, puisque c'est le segment IV qui disparaît latéralement.

Le segment VIII, qui n'est jamais visible que sous le branchiostège, recouvre les segments VI et VII, dont les parois endophragmales sont, comme celles du segment IV, repoussées vers l'intérieur. Quant aux segments IX à XIII, leurs traces, sur la paroi interne de la chambre branchiale complètent l'identification de la totalité des segments céphalothoraciques.

Ces processus sommairement exposés paraissent valables pour les *Natantia* comme pour les *Reptantia*.

La poursuite d'une étude menée dans ce sens doit permettre d'en étendre les conclusions et d'apporter des précisions à la phylogénie du groupe.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) S. SECRETAN, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 168.

ALGOLOGIE. — *Sur l'existence d'une reproduction sexuée chez le* Rhodochæte parvula *Thuret.* Note de M. **Francis Magne**, présentée par M. Roger Heim.

Chez la petite Protofloridée *Rhodochæte parvula*, Bornet a décrit [1] la formation de spores neutres selon un processus identique à celui des *Erythrotrichia*, c'est-à-dire par séparation latérale, au moyen d'une cloison courbe, d'une partie de la cellule mère, qui se charge de plastes et de substances de réserve et constitue la spore qui s'échappe ensuite.

Au cours d'un séjour à la Station zoologique de Villefranche, j'ai retrouvé cette algue qui ne semble avoir été revue depuis que par Schmitz [2], et j'ai pu en reprendre l'étude. Celle-ci a montré que les spores observées par Bornet ne sont pas des spores neutres, mais au contraire se forment à la suite d'une fécondation et sont donc, en réalité, des *carpospores*.

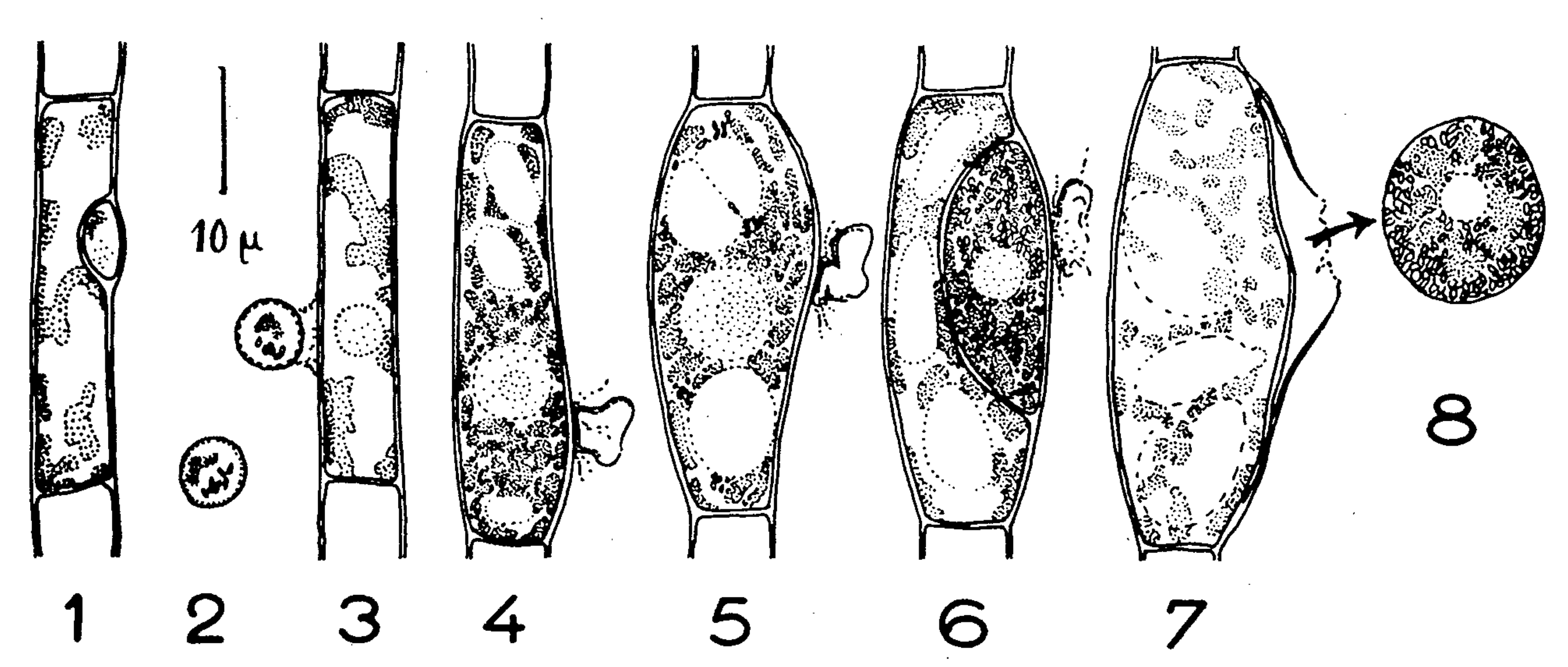


Fig. 1 à 8. — *Rhodochæte parvula* Thuret (explications dans le texte).

Les plantes sont des gamétophytes monoïques. Chaque organe mâle est un *spermatocyste* plus ou moins lenticulaire (*fig.* 1) enchâssé dans une cellule d'un aspect par ailleurs tout à fait banal, et dont il est séparé par une cloison courbe en forme de verre de montre; à maturité, il libère tout son contenu sous la forme d'une seule spermatie (*fig.* 2).

Chaque organe femelle est un *carpogone* indifférencié d'aspect absolument identique à celui de n'importe quelle cellule végétative. Au moment de la fécondation, la spermatie s'accole à lui par l'intermédiaire d'une goutte de gelée (*fig.* 3).

A partir de ce moment, le carpogone fécondé, devenu un *zygote*, évolue selon le processus décrit en partie par Bornet [1]. Il s'enfle (*fig.* 4 et 5), tandis que dans son protoplasme le nombre des plastes augmente fortement et que bientôt y apparaissent des grains d'amidon floridéen. A ce moment, une division se produit, et une cloison courbe isole latéralement une cellule fille de forme lenticulaire (*fig.* 6).

Celle-ci, tout en continuant à grossir et à accumuler plastes et substances de réserve, reste longtemps encore incluse dans le flanc de la cellule mère, et s'en échappe à maturité par une ouverture latérale. La *carpospore* ainsi formée s'arrondit tandis que la cellule mère occupe la place laissée libre par son départ (*fig.* 7 et 8).

L'étude caryologique a pu être menée à bien et a montré :

a. que chaque cellule du gamétophyte, y compris la spermatie et le carpogone, possède un stock chromosomique de $n = 4$;

b. que la première division de l'œuf ne présente aucun caractère de méiose, et qu'en fin de prophase elle montre huit chromosomes non réunis par paires. Ainsi la carpospore formée est diploïde tout comme sa cellule mère qui reste incluse dans le gamétophyte.

Le fait que la carpospore soit diploïde impose — si l'on repousse l'hypothèse d'une méiose à sa germination, chose encore inconnue chez les Rhodophycées — qu'elle donne naissance à un sporophyte dans les sporocystes duquel puisse s'effectuer la réduction chromatique indispensable à l'accomplissement du cycle cytologique de l'espèce. Ce sporophyte est dès maintenant à rechercher.

Ces observations seront développées dans un Mémoire à paraître prochainement.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) *Mém. Soc. nat. des Sc. nat. et math.*, Cherbourg, 28, 1892, p. 165-376.

(2) *Rhodochætaceæ*, in ENGLER et PRANTL, *Pflanzenfamilien*, *Algæ*, 1897, p. 317.

MYCOLOGIE. — *Recherches sur la sporulation de l'*Aspergillus clavatus *Desm.* Note (*) de Mme **Mireille Moreau** et M. **Claude Moreau**, présentée par M. Roger Heim.

Par la clavacine qu'il émet, dans les plantules de Graminées cultivées en germoirs, l'*Aspergillus clavatus* est une moisissure très dangereuse pour le gros bétail. L'étude de sa sporulation révèle un potentiel infectieux très élevé : une spore produit 50 000 000 de spores en 4 jours et 5 fois plus en 6; la rapidité de maturation des spores permet des cycles de culture très rapprochés.

Nous avons précédemment signalé (1) le danger mortel que représente pour le gros bétail, la consommation de plantules fourragères cultivées en germoirs où pullule l'*Aspergillus clavatus*.

Il nous a paru utile de suivre, d'une manière plus précise, l'évolution de la sporulation de ce Champignon dangereux durant une période équivalente à celle nécessaire à la croissance des plantules de Graminées.

a. Sporulation sur grains de blé et d'orge. — Les grains, expérimentalement contaminés par agitation dans une suspension très riche en spores, sont mis à germer sur coton hydrophile, en serre à 25°.

Le 7e jour, chaque grain est agité violemment 100 fois dans 10 ml d'eau en présence d'une trace de substance tensioactive (2). Les évaluations des spores formées sont faites dans une cellule de Malassez.

Grain de blé très peu infecté	3 500 000 de spores
» » moyennement infecté	18 000 000 »
» » très infecté	65 000 000 »
» d'orge moyennement infecté	80 000 000 »
» » très infecté	120 000 000 »

Ces résultats sont très hétérogènes bien que de toutes façons élevés; il semble que l'infection commence de préférence au point de sortie de la gemmule, à condition que l'humidité soit suffisante, or les grains sont irrégulièrement disposés sur le coton. Leur disposition est plus régulière dans les germoirs industriels.

Nous avons préféré suivre alors le comportement de l'*Aspergillus clavatus* sur milieu gélosé (Maltea Moser 2 %) en boîte de Pétri.

b. Cultures polysporées. — Une suspension de spores de l'*Aspergillus clavatus* est diluée afin de déposer de 10 à 30 spores par goutte ensemencée, 7 gouttes par boîte de 100 mm. Incubation à 25°.

Chaque colonie est prélevée individuellement et agitée violemment 100 fois en présence de 20 ml d'eau et de traces de substance tensioactive. Nous assimilons la sporulation non pas à la quantité absolue des spores formées qui est inchiffrable, mais aux seules spores collectables donc capables d'être dispersées.

Après 4 jours, le diamètre des cultures est de 22 à 24 mm et la moyenne de sporulation par colonie est de 90 000 000 de spores.

Après 6 jours, le diamètre est de 26 à 30 mm, il semble qu'il y ait une inhibition réciproque des cultures, la moyenne de sporulation par colonie est de 257 000 000 de spores.

c. Cultures monosporées. — Elles ont été obtenues par prélèvement, sous microscope stéréoscopique, de spores ensemencées par dilution après 20 h d'incubation, 7 colonies par boîte. Incubation à 25°.

Les colonies sont partout très régulières.

Après 4 jours, leur diamètre est de 16 mm et la moyenne de sporulation est de 50 000 000 de spores.

Après 6 jours, le diamètre est de 24 mm et la moyenne de sporulation de 250 000 000 de spores.

Après 8 jours, le diamètre et la sporulation n'ont pas changé.

Conclusions. — L'*Aspergillus clavatus* est une espèce particulièrement prolifique. Une colonie polysporée est à peine plus féconde qu'une colonie monosporée placée dans de bonnes conditions.

Durant le temps de culture des plantules de Graminées en germoir, une seule spore produit un nombre énorme de spores, les premières mûres dès le 3e jour peuvent donner naissance à des colonies secondaires.

Or, nous avons souligné (1) la haute toxicité pour le bétail des plantules infectées. Bien que toutes les spores produites ne rencontrent pas les conditions idéales de croissance, un potentiel infectieux aussi grand rend très grave l'introduction fortuite d'une telle moisissure dans un germoir.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) C. et M. Moreau, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 46, n° 7, 1960, p. 441-445.

(2) P. Joly, *Bull. Soc. Myc. Fr.*, 66, n° 3, 1960 (sous presse).

PALYNOLOGIE. — *Recensement quotidien des grains de pollen de* Celtis australis *L. à Nîmes en* 1960. Note (*) de M. **Jean Aubert**, Mlle **Huguette Charpin**, MM. **Lucien Simon** et **Jacques Charpin**, présentée par M. Roger Heim [1].

Aux États-Unis, dans l'étiologie de l'allergie pollinique, un rôle, restreint il est vrai, ayant été attribué au Micocoulier (*Celtis australis* L.), il nous a paru intéressant de rechercher une intervention possible de cet arbre dans la genèse des accidents polliniques de notre région. La ville de Nîmes nous offrait un terrain de choix pour cette étude, puisque cette espèce a été largement plantée dans les parcs et avenues. Il convenait pour cela d'établir un diagramme pollinique de l'atmosphère de cette ville. Nous avons procédé à ce recensement, axé sur les grains de pollen de Micocoulier au cours des premiers mois de l'année 1960.

La méthode utilisée a déjà été exposée [2]. Les grains de pollen ont été identifiés et comptés sur des lames enduites de gélatine glycérinée colorée à la fuchsine basique, exposées dans un appareil d'échantillonnage standard décrit par Durham et changées toutes les 24 h. Le dénombrement a été fait sur une surface de 2 cm^2. Nous avons choisi un seul poste d'échantillonnage, placé sur le toit en terrasse du lycée de Montaury (altitude : 60 m; hauteur à partir du sol : 20 m) situé à l'Ouest de la ville. Ce choix est convenable dans le cadre de ce travail. Les Micocouliers sont absents en effet dans le voisinage immédiat du lycée, ce qui permet de considérer les résultats obtenus comme le reflet du contenu moyen de l'atmosphère de la cité.

La ville de Nîmes compte environ 1000 pieds de *Celtis australis* L. répartis de la façon suivante : 600 arbres sur les places et avenues, 400 arbres dans les jardins. Le grain de pollen a une forme généralement sphérique; ses dimensions varient de 30 à 48 μ, en moyenne 35 μ. L'exine est discrètement ponctuée et pourvue de trois pores équidistants, équatoriaux, légèrement protubérants, munis ou non d'opercules fragmentés. L'intine, en face des pores, s'épaissit en un ancus prononcé. Enfin le contenu du grain est grossièrement granuleux.

Le relevé porte sur 60 jours : du 2 mars au 30 avril 1960 inclus. Trois lames ont été détériorées, se rapportant aux 12, 17 et 29 avril, ce qui ramène le recensement à 57 jours. La quantité totale de pollens « piégés » s'élève à 10 204, dont 147 grains de *Celtis australis* L. Ces derniers se répartissent sur 18 jours seulement : les 18, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30 et 31 mars et les 1er, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 9 avril.

Les prises maximales correspondent au 24 mars (température minimale : 7°,6; maximale : 16°,6; vent : Est-Nord-Est, Est, Sud-Sud-Est;

vitesse : 3 m/s) soit 26 grains de *Celtis* pour un total de 76 grains, et au 31 mars (température minimale : 7°,5; maximale : 17°,2; vent Sud-Sud-Ouest, Nord-Nord-Ouest, Nord) soit 22 grains de *Celtis* pour un total de 396 grains. Les prises minimales se situent le 28 mars (température minimale : 9°,2; maximale : 13°,4; vent Est-Nord-Est, Est, Sud-Sud-Ouest; vitesse : 2 m/s) avec un grain de *Celtis* sur un total de 25 grains et le 7 avril (température minimale : 7°,0; maximale : 18°,4; vent : Sud à Sud-Sud-Ouest; vitesse : 2,3 m/s) avec un grain de *Celtis* sur un total de 44 grains. La courbe représentant la fréquence de ces grains forme deux pointes correspondant aux prises maximales, séparées par une prise nulle se situant le 27 mars.

Par ailleurs, les précipitations légères n'annulent pas les prises polliniques. Un exemple : le 26 mars (précipitation : 7,3 mm; température minimale : 9°,9; maximale : 12°,1; vent : Nord, Est, Sud-Sud-Est; vitesse : 3,5 m/s) on identifie 4 grains de *Celtis* sur un total de 52 grains.

De ce recensement, on peut conclure à une faible pollution de l'atmosphère de Nîmes par les grains de pollen de Micocouliers au cours de l'année 1960. La période de pollinisation est par ailleurs courte, soit moins de trois semaines. Ce n'est peut-être pas la règle générale et cela devrait être vérifié plusieurs années de suite, car la pollinisation, comme la fructification, paraît sujette à variation. Si par ailleurs, comme cela paraît se confirmer, le pollen de *Celtis* est peu allergénique, les Nîmois peuvent se féliciter d'avoir planté ces arbres plutôt que des Platanes. Ils s'assurent ainsi des printemps moins troublés que ceux des habitants de Marseille, de Londres ou de Barcelone.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) Travail de la Fondation de Recherches allergologiques à Marseille réalisé avec l'aide du Centre National d'Hygiène.

(2) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 1492.

MICROBIOLOGIE DES SOLS. — *Note préliminaire sur la microflore de quelques sols alpins.* Note (*) de MM. **Richard Moreau** et **Walter Gams**, présentée par M. Roger Heim.

Les analyses chimiques et microbiologiques d'alluvions de torrents alpins, colonisés par la végétation, et d'humus bruts d'altitude prélevés dans les Alpes de Haute-Savoie, ont montré une corrélation nette entre les facteurs écologiques et l'équilibre microbiologique des sols étudiés.

Au cours de deux campagnes de recherches à la Station d'Écologie alpine de la Jaysinia (Samoëns, Haute-Savoie), nous avons étudié la composition chimique et la microflore de plusieurs séries de sols. En 1958, nos recherches (R. M.) ont porté sur des alluvions du cours du Giffre (Fer à Cheval, Sixt) et en 1959 (W. G. et R. M.) sur les mêmes alluvions ainsi que sur des humus alpins provenant de diverses localités du Faucigny.

En ce qui concerne les alluvions — nous rappelons que l'étude botanique en a été bien faite précédemment par Ph. Hagène (1939) —, nous les avons étudiées à leurs principaux stades de colonisation par la végétation : 1° bancs émergés uniquement aux basses eaux (rares touffes du *Saxifraga aizoïdes* et de Graminées); 2° bancs bien colonisés, immergés aux grandes eaux seulement (stade à *Alnus incana*, *Salix incana*, *S. daphnoïdes* et hybrides, et à *Epilobium Fleischeri;* avec également les *Gypsophila repens*, *Saxifraga aizoïdes*, *Buphthalmum salicifolium*, etc.) : nous y avons prélevé des échantillons séparés sous *Alnus*, *Salix* et au milieu des Epilobes; 3° stade de l'aulnaie avec l'*Alnus incana* dominant, les *Brachypodium silvaticum*, *Aquilegia atroviolacea* et déjà de jeunes *Picea excelsa*, *Acer sp.*, *Sorbus aucuparia*, etc. Les deux derniers prélèvements ont été réalisés sur des parties colonisées depuis très longtemps et qui ne sont plus jamais envahies par les eaux; il s'agit de : 4° buissons à *Fagus silvatica*, *Acer pseudoplatanus*, *Rhamnus frangula* et *Brachypodium silvaticum*, *Maianthemum bifolium*, *Prenanthes purpurea*, etc.; 5° sous un peuplement de Hêtre très serré, dont le tapis herbacé est voisin, mais plus pauvre que le précédent. Les sols d'alluvions sont squelettiques, à pH voisin de la neutralité; ils ne présentent pas trace de composés humiques. Ils renferment en moyenne 80 % d'eau. Les deux derniers sols sont à humus brut, foncé, sur un soubassement d'alluvions; le pH est abaissé, l'humidité est en moyenne de 35 %. Les prélèvements pour l'analyse ont été réalisés en juillet-août 1958 et 1959.

En dehors de certaines différences quantitatives (micro-organismes plus abondants sous les *Alnus* ou les *Epilobium* que sous les *Salix;* microflore

très pauvre dans les bancs très souvent immergés), on remarque de grandes similitudes entre les microflores des alluvions 1 à 3 : les Actinomycètes y sont présents en quantité notable, dépassant parfois 10 % du nombre total des germes; les *Azotobacter* y sont constants, avec des variations dans leur nombre. De plus, les germes se répartissent d'une façon très voisine dans les groupes nutritionnels (selon Lochhead) : 27 à 35 % des souches isolées, dans le groupe 1 (micro-organismes à besoins réduits, se développant bien sur un milieu composé uniquement de sels minéraux et de glucose), 45 à 57 % dans le groupe 2 (même milieu + acides aminés), 15 à 28 % dans le groupe 3 (idem + extrait de levure et extrait de terre). Dans les deux stades suivants par contre, (buissons à *Fagus* et Hêtraie), la microflore est bien différente des précédentes; en particulier, les *Azotobacter* sont absents, ce qui est dû sans doute à l'acidification de l'humus. Toutefois, le passage progressif des alluvions à la forêt est surtout marqué par les changements constatés dans la microflore fongique. Dans les premiers stades (1 à 3), les espèces sont peu nombreuses; la microflore est dominée par le *Truncatella truncata* (Lev.) Steyaert présent partout, le *Fusarium roseum* (ss. Snyder et Hansen) très abondant, des mycéliums stériles, puis *Dendrodochium* sp. (?), *Cylindrocarpon Erhenbergi* Wr., *Trichoderma viride* et divers *Penicillium*, selon les stations. Puis dans le stade buissonnant on note un certain nombre de ces espèces, mais apparaissent aussi, quoique assez rares, des *Mortierella* (*M. alpina*, *M. minutissima*), *Mucor* (*M. hiemalis*, *M. microsporus* ?) etc.; enfin la microflore du stade forêt est beaucoup plus riche et contient en plus des espèces précédentes : *Acrostalagmus variicolor*, *Cladosporium herbarum* et *C. spherospermum*, *Chætomium globosum*, *Cylindrocarpon didymum*, *Humicola* sp., *Mammaria echinobotryoides* Cesati, etc. L'ensemble des facteurs écologiques et, surtout, la végétation semblent donc avoir une influence nette sur la composition de la microflore de ces sols (surtout du point de vue qualitatif).

Cette conclusion est confirmée par l'étude d'humus prélevés en altitude sous *Rhododendron ferrugineum* (près du glacier du Tour, au Montenvers, à la montagne des Saix, au Mont-Chéry), sous *Loiseleuria procumbens* (Le Tour, Mont-Chéry), sous *R. hirsutum* (Mont-Jorat), enfin sous un *Sphagnum* (les Saix). Les résultats sont très comparables à ceux obtenus par l'un de nous [2] au Tyrol. En plus du fait que les stations situées « à l'ombre » (Montenvers par exemple) sont moins riches en espèces, nous avons constaté que dans les humus à *R. ferrugineum*, il y a plus d'espèces, parmi lesquelles les *Mortierella* dominent le plus souvent, que dans les humus à *Loiseleuria* où les *Penicillium* sont généralement les plus abondants. La tourbière est très pauvre en germes et en espèces. Enfin l'humus à *R. hirsutum* montre des différences considérables avec les autres : deux espèces de *Penicillium* dominent (*thomii* et *lanosum*); les espèces habi-

tuelles (*Mortierella* surtout) sont absentes. On y note *Truncatella truncata*, déjà trouvée dans les alluvions. A remarquer aussi la présence du *Fusarium roseum* dans l'humus de *Rhododendron* du Montenvers.

Ces recherches, dont les premiers résultats semblent encourageants, sont poursuivies et leur ensemble sera publié ultérieurement.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) PH. HAGÈNE, *Végétation des alluvions des cours d'eau alpins* (*Travaux de la Station Écologique de la Jaysinia, à Samoëns* (*Haute-Savoie*), 1939, 54 pages).

(2) W. GAMS, *Die Bodenpilze im Zentralalpinen Rohhumus* [*Thèse*, Innsbrück (Autriche), 1959].

ANTHROPOLOGIE. — *Otospongiose et rotation crânio-labyrinthique.* Note (*) de MM. **Antoine Delattre** et **Raphaël Fenart**, présentée par M. Robert Courrier.

Dans une Note précédente [1] nous avons exposé l'existence d'une solidarité assez étroite entre la rotation du labyrinthe et celle de la loge osseuse cérébelleuse. Elle a pu être mise en évidence, grâce à la méthode d'étude vestibulaire du crâne, au cours de la phylogénèse des Mammifères. La rotation s'effectue autour d'un axe passant par les centres des boucles des canaux semi-circulaires latéraux qui demeurent fixes en leur position. Les éléments proches de cet axe, tels les ampoules des canaux semi-circulaires postérieurs, tournent du même angle que des éléments beaucoup plus éloignés, tels l'inion. Ceci se vérifie généralement chez les Mammifères adultes, jusqu'aux Primates les plus évolués.

Chez l'Homme, le degré de rotation de sa loge cérébelleuse et des parties phylogénétiquement mobiles de ses labyrinthes est supérieur à celui de tous les Mammifères et Primates. L'attitude complètement érigée du corps humain l'explique, car elle entraîne le *foramen magnum* vers l'horizontalité et par voie de conséquence toute la loge cérébelleuse suit ce mouvement. Mais, chez l'Homme, la solidarité évoquée plus haut n'est plus retrouvée; une rotation différentielle phylogénique entre les labyrinthes et la loge osseuse cérébelleuse s'observe; cette dernière tournant encore tandis que les parties mobiles du labyrinthe sont restées bloquées dans une position « limite », contre la masse, fixe, des ampoules des canaux : horizontal et supérieur.

Ces quelques considérations apparaissent d'importance capitale pour éclairer la pathogénie des déformations osseuses de l'otospongiose : affection spécifiquement humaine. La singularité des rapports rotatoires crânio-labyrinthiques permet de l'expliquer.

Au cours de l'ontogénèse humaine une rotation « vraie » de l'arrière-crâne se produit dans le même sens que celui observé durant la phylogénèse crânienne (stades successifs). La position « limite » labyrinthique est acquise très tôt (stade foetal, donc plus tôt que ne l'admet Sercer) tandis que la position de l'occipital continue à évoluer.

Ces déplacements labyrinthiques n'ont pu se produire (dans les conditions normales) sans un accroissement sus-ampullaire postérieur de la paroi utriculaire, allant de pair avec une diminution de cette paroi entre la fenêtre ovale et l'ampoule du canal semi-circulaire latéral correspondant. Si, au cours de la croissance, le tissu osseux situé en cet endroit présente une consistance anormale, pour quelque cause que ce soit, la rotation du labyrinthe, au lieu d'être normalement bloquée en position limite, pourra

se poursuivre plus ou moins, et entraîner des déformations dans le voisinage de la fenêtre ovale.

Sercer [2] avait attiré l'attention sur l'importance de la rotation de l'arrière-crâne dans la production de l'otospongiose. Nous admettons ses conclusions générales, mais nous pensons toutefois qu'une hyper-rotation de tout l'arrière-crâne n'est pas indispensable. Tout Homme normal est porteur d'une « condition nécessaire mais non suffisante » acquise avec la station debout : c'est la position limite, dangereuse, des éléments osseux labyrinthiques proches de la fenêtre ovale.

Si une déficience du tissu osseux, d'origine diverse : vitaminique, calcique, génétique, etc. se produit à cet endroit, le degré *normal* de rotation de la loge cérébelleuse est alors suffisant pour expliquer les modifications osseuses de l'otospongiose. Évidemment une hyperflexion de la base du crâne est certainement un facteur aggravant, mais qui n'est pas indispensable.

Pourquoi cette affection est-elle spécifiquement humaine? parce que chez les Primates la rotation labyrinthique est solidaire de celle du crâne, comme chez les Quadrupèdes, et que la rotation ontogénique se fait, de plus, en sens inverse de la rotation observée chez l'Homme.

En résumé, le labyrinthe, et, en particulier la région péri-ovalaire, est comme la charnière lombo-sacrée, un « point sensible » du système osseux, lié à la station érigée du corps humain.

(*) Séance du 3 octobre 1960.
(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3722.
(2) A. SERCER, *Bull. Acad. Méd.*, 143, nº 32, 1959.

(*Laboratoire de Crâniologie comparée de la Faculté libre de Médecine de Lille.*)

PHYSIOLOGIE. — *Effets hématopoïétiques de l'ingestion de lactose au cours de l'évolution du rachitisme du Rat.* Note de MM. **Paul Fournier** et **Maurice Piette** [1], présentée par M. René Fabre.

Des rats sont rendus rachitiques sous l'effet d'un régime hypocalcique. Chez les animaux qui, dans un second temps, reçoivent un régime normalement calcique, la présence de lactose dans le régime cause une augmentation du taux de l'hémoglobine de l'os et du nombre des érythroblastes médullaires ainsi qu'une crise réticulocytaire, témoignages d'une hyperactivité érythropoïétique de la moelle osseuse.

Une carence calcique prolongée se traduit, chez le jeune Rat, par l'épaississement du cartilage de conjugaison des os longs et par une disposition désordonnée de leurs travées osseuses. L'incorporation d'une quantité normale d'un sel minéral de calcium ne permet qu'un amendement partiel de ces signes de rachitisme tandis que, sous l'effet de l'ingestion simultanée de ce sel de calcium et de lactose, l'os retrouve promptement l'aspect caractéristique d'une ossification normale [2].

Des différences entre les os de ces animaux portent aussi, semble-t-il, sur la moelle osseuse, plus vivement colorée chez les rats dont le régime renferme du lactose. Par ailleurs, le nourrisson rachitique peut présenter des signes d'anémie [3]. Ces diverses observations conduisent à rechercher les effets hématopoïétiques de l'ingestion de lactose au cours de l'évolution du rachitisme.

Conditions expérimentales. — Dans une première période de 21 jours, 56 rats Wistar pesant de 65 à 76 g sont soumis à un régime rachitigène de faible teneur en calcium (0,05 %). Ce régime a la composition centésimale suivante : amidon, 74; caséine purifiée, 15; huile d'arachide, 8; mélange salin [4] sans $CaCO_3$, 1,5; mélange vitaminique [5], 1; acétate d'axérophtol, 0,0002; TiO_2, 0,5. A la fin de cette période huit animaux sont sacrifiés. L'un des tibias sert à la préparation de frottis de moelle osseuse en vue d'un myélogramme; sur l'autre tibia on procède au dosage spectrophotométrique de l'hémoglobine [6] après extraction par broyage avec de l'eau ammoniacale et filtration. La numération des réticulocytes est effectuée, dans le sang, selon diverses techniques [6], [7].

Dans la seconde période, les 48 rats survivants, répartis en deux lots égaux, reçoivent des régimes de teneur normale en calcium (0,65 %). La composition du régime du premier lot, dit lot « témoin », diffère du régime administré pendant la première période par la substitution de 1,5 % de $CaCO_3$ à une même proportion d'amidon. Dans le régime du second lot, dit lot « lactose », 21,5 parties d'amidon sont remplacées respectivement par 1,5 partie de $CaCO_3$ et 20 parties de lactose. Huit rats de chaque lot sont sacrifiés après avoir reçu leur régime calcique pendant 5, 10 ou 15 jours.

Sur chaque animal sont effectués les divers tests osseux et sanguin précédemment mentionnés.

Résultats. — Un tableau groupe les valeurs moyennes suivies de l'erreur standard.

	Tests employés.					
	Osseux.				Sanguin.	
	Hémoglobine (mg par g d'os).		Érythroblastes pour 100 éléments nucléés de la moelle.		Réticulocytes pour 100 hématies.	
1° En fin de période de déficience calcique....	4,4 ± 0,54		35,5 ± 2,21		4,4 ± 0,68	
	lots		lots		lots	
	témoin.	lactose.	témoin.	lactose.	témoin.	lactose.
2° Durée de l'administration des régimes calciques :						
5 jours...........	3,8 ± 0,42	7,0 ± 0,9	49,8 ± 3,26	52,1 ± 1,33	7,0 ± 1,36	11,8 ± 3,74
10 jours...........	5,6 ± 0,1	7,6 ± 0,48	39,3 ± 2,46	67,6 ± 3,40	5,2 ± 0,79	19,3 ± 2,08
15 jours...........	4,4 ± 0,78	4,8 ± 0,26	38,7 ± 3,07	41,9 ± 2,42	4,9 ± 2,04	8,3 ± 1,17

L'étude statistique de ces valeurs montre que, pour les trois tests utilisés, les résultats sont au 10[e] jour hautement significatifs (degré de probabilité P compris entre 0,01 et 0,001 pour l'hémoglobine osseuse, inférieur à 0,001 pour les érythroblastes et les réticulocytes). Au 5[e] jour, les résultats de l'hémoglobine sont seuls significatifs (P voisin de 0,01). Au 15[e] jour, les différences observées entre les deux lots d'animaux ne sont pas statistiquement significatives, même pour les réticulocytes qui, au premier abord, pourraient donner l'impression inverse.

Les nombres indiquant l'augmentation de l'hémoglobine au niveau du tibia précisent les observations visuelles relatives à la couleur de la moelle osseuse, plus vive chez les rats guéris du rachitisme sous l'influence de l'ingestion du lactose. Cette couleur pourrait être rapportée en première analyse à une hyperémie locale mais, si ce phénomène est possible, il ne peut être considéré comme cause unique étant donné l'augmentation importante du pourcentage des érythroblastes médullaires et la crise réticulocytaire sanguine, témoins certains d'une hyperactivité érythropoïétique de la moelle osseuse. Il convient par ailleurs de souligner le caractère transitoire de cette réaction, qui appelle d'autres recherches.

(1) Avec l'assistance technique de M[me] Monique Allez et M[lle] Nicole Tardy.

(2) P. Fournier, Y. Dupuis et J. Bescol-Liversac, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2836.

(3) A. Bohn, *Thèse de Doctorat en Médecine*, Paris, 1929.

(4) R. Hubbel, L. Mendel et A. Wakeman, *J. Nutr.*, 14, 1937, p. 273.

(5) J. Fischer, *Amer. J. Physiol.*, 188, 1957, p. 49.

(6) M. Piette, *Techniques courantes et d'hématologie* dans *Mises au point parapharmaceutique et biologique*, Vigot, Paris, 1960.

(7) M. Piette, *Le Sang*, 31, 1960, p. 265.

(Laboratoire de Physiologie de la Nutrition du C. N. R. S. et Laboratoire d'Hématologie de la Faculté de Pharmacie de Paris.)

PHYSIOLOGIE. — *Action facilitante du 3.3-pentaméthylène-4 hydroxybutyrate de sodium sur la vitesse d'acquisition d'une tâche et la mémoire différée chez le Rat.* Note de M. **François Bourlière** et Mlle **Angèle Rapaport**, présentée par M. Léon Binet.

Alors que des rats blancs âgés de 10 mois et plus sont normalement incapables d'apprendre une tâche nouvelle dans l'appareil du type Skinner, l'injection pendant 15 jours consécutifs de 3 mg par kilogramme de 3.3-pentaméthylène-4 hydroxybutyrate de sodium facilite l'apprentissage de 18 traités sur 25. Ce même produit a également un effet favorable sur la mémoire différée dans 17 cas sur 25.

L'action favorable du 3.3-pentaméthylène-4 hydroxybutyrate de sodium sur certains troubles de « mémoire » des personnes âgées nous a amené à étudier expérimentalement l'effet de ce corps sur la vitesse d'acquisition d'une tâche, la mémoire différée et la vitesse de réapprentissage du rat aux différents âges.

Technique. — Nous avons utilisé, pour la mesure du temps nécessaire à l'acquisition d'une tâche, la technique dérivée de celle de Skinner décrite par l'un d'entre nous [A. Rapaport ([1])]. Pour éprouver la mémoire l'épreuve est répétée après 1, puis 3 mois d'interruption de l'entraînement, toutes les autres conditions expérimentales étant maintenues par ailleurs identiques.

Les animaux étudiés furent des rats mâles de souche Wistar, de l'élevage du laboratoire, tous apparentés entre eux. Dans chaque expérience, chaque groupe d'animaux fut divisé, au hasard, en deux lots : des traités (Tr) recevant pendant 15 jours consécutifs 3 mg par kilogramme et par jour de solution de 3.3-pentaméthylène-4 hydroxybutyrate de sodium par voie sous-cutanée et des témoins (NTr) recevant dans les mêmes conditions un volume identique de sérum physiologique.

Quatre groupes d'animaux furent successivement étudiés : le groupe I, composé de 14 rats [7 traités (Tr) et 7 témoins (NTr)] âgés de 2 mois et pesant en moyenne 120 g. au début de l'expérience; le groupe II, formé de 20 rats [10 traités (Tr) et 10 témoins (NTr)] âgés de 10 mois et pesant en moyenne 350 g au début de l'expérience; le groupe III, composé de 17 rats [9 traités (TrR) et 8 témoins (NTrR)] âgés de 10 mois, mais ayant perdu 10 % de leur poids avant le début de l'expérience; le groupe IV enfin, composé de 12 rats (6 traités et 6 témoins), âgés de 20 mois au début de l'expérience, et dont la moitié [3 animaux traités (TrR) et 3 témoins (NTrR)] avait été soumise, pendant 10 jours avant la première épreuve, à un régime alimentaire qualitativement normal mais quantitativement restreint (ces animaux sont désignés respectivement, dans le tableau ci-après, par les symboles TrR et NTrR). L'amaigrissement préalable des rats du groupe III, tout comme la « restriction calorique » pour la moitié de ceux du groupe IV,

avaient pour but de vérifier l'observation de D. G. Entwisle [2] qui a montré qu'en soumettant des rats à un régime restreint en calories, entraînant une perte de poids de 10 %, on obtenait d'eux l'accomplissement de certaines tâches quel que fût leur âge. Ceci est probablement imputable à une augmentation concomittante de leur activité d'exploration.

Résultats. — Nos résultats sont résumés dans le tableau I, dans lequel la première colonne indique le nombre d'animaux qu'il a été possible de conditionner dans chaque lot, la seconde le temps moyen nécessaire pour l'acquisition de la tâche, la troisième et la quatrième colonnes le nombre d'animaux de chaque lot s'étant souvenu (+) de la tâche à accomplir à 1 et 3 mois d'intervalle et la dernière colonne enfin le temps moyen nécessaire pour le réapprentissage. On peut constater :

Tableau I.

Groupes.		Nombre de rats conditionnés.	Temps moyen nécessaire pour l'acquisition de la tâche pour chaque lot (mn).	Mémoire différée 1 mois.	Mémoire différée 3 mois.	Temps moyen nécessaire pour le réapprentissage de chaque lot.
I (14 rats)	Traités	5/7	30	5 +	5 +	–
	Non traités	5/7	30	5 +	5 +	–
II (20 rats)	Traités	6/10	270	6 +	2 +	90 mn (4 rats)
	Non traités	0/10	∞	–	–	–
III (17 rats)	Traités	8/9	180	8 +	4 +	1 TrR ∞ 3 TrR 120 mn
	Non traités	4/8	270	4 +	–	3 NTrR ∞ 1 NTrR 450 mn
IV (12 rats)	Traités	R 2/3	270	2 +	1 +	1 TrR 180 »
	Non traités	R 1/3	450	–	–	1 Tr 180 »
	Traités	2/3	270	1 +	–	–
	Non traités	0/3	∞	–	–	–

1° que le produit étudié n'a aucune action sur la vitesse d'apprentissage et sur la mémoire différée du rat de 2 mois;

2° qu'à l'âge de 10 mois (fin de la croissance staturale) aucun témoin n'a réussi à apprendre la tâche assignée, ce qui est conforme à l'opinion de la plupart des auteurs qui estiment qu'à cet âge le rat blanc est incapable d'un apprentissage quelconque. Par contre, 6 animaux traités sur 10 ont pu être conditionnés. On notera toutefois que le temps moyen nécessaire à l'acquisition de la tâche fut de 270 mn, contre 30 mn chez les plus jeunes. Les tests de mémoire différée (après 1 et 3 mois) montrent également que certains animaux traités se souviennent encore et exécutent immédiatement ladite tâche 1 et même 3 mois après la première expérience;

3° comme l'avait montré Entwisle, les rats adultes soumis à une alimentation quantitativement restreinte se comportent souvent comme des

animaux plus jeunes. Dans le groupe III, 4 des 8 témoins ayant perdu 10 % de leur poids avant la première expérience sont capables d'apprendre une tâche nouvelle, alors qu'aucun des 10 témoins de même âge du groupe II n'y est parvenu;

4° parmi les animaux de 20 mois (groupe IV), 1 sur 3 des sujets traités nourris *ad libitum* et 2/3 des rats traités et soumis à un régime restreint ont pu être conditionnés, alors qu'un seul des témoins fut capable d'en faire autant (quoique beaucoup plus lentement) et encore s'agissait-il d'un des trois animaux qui étaient soumis à la « restriction calorique ». Seuls 3 rats traités ont donné des résultats positifs aux épreuves de mémoire différée après 1 mois (et 1 après 3 mois).

Conclusion. — Compte tenu de nos résultats, il semble bien que le 3.3-pentaméthylène-4 hydroxybutyrate de sodium soit susceptible de faciliter l'apprentissage et la souvenance d'une tâche chez les Rats âgés de 10 et de 20 mois.

(1) A. RAPAPORT, *J. Physiol.*, Paris, 50, 1958, p. 475-477.
(2) D. G. ENTWISLE, *Gerontologia*, Basel, 3, 1959, p. 261-265.

(Centre de Gérontologie Cl. Bernard et Chaire de Gérontologie de la Faculté de Médecine de Paris.)

PHYSIOLOGIE. — *L'appétit du Moineau domestique s'abaisse graduellement durant le cycle sexuel jusqu'à une valeur néfaste à la gonadostimulation expérimentale par illumination.* Note de M. **Léon Vaugien**, présentée par M. Léon Binet.

Dans plusieurs Notes récentes [1], j'ai insisté sur les corrélations qui paraissent s'établir entre l'intensité du métabolisme des oiseaux nidicoles et leur activité sexuelle. Les diverses expériences montraient que la croissance des testicules subit l'influence :

— de l'abréviation, par une lumière artificielle, de la période de bas métabolisme de la nuit;

— de la nourriture ingérée durant l'éclairage additionnel;

— des injections d'un activateur du métabolisme, thyroxine ou thyréostimuline.

Les présentes expériences, entreprises dans le même esprit, visaient à rechercher les rapports entre la fonction sexuelle et la quantité de nourriture consommée journellement. Elles comportaient trois sortes d'observations :

a. le contrôle systématique de la nourriture absorbée par des mâles en activité sexuelle soumis à un éclairage artificiel constant;

b. la mesure de la consommation des mâles capturés dans la nature à diverses époques du cycle reproducteur;

c. l'examen comparatif de la réponse testiculaire de deux lots de moineaux illuminés, l'un étant rationné, l'autre toujours approvisionné.

La nourriture offerte comportait un mélange de graines d'alpiste et de millet, des feuilles de laitue et de l'eau; la température du laboratoire oscillait entre 18 et 22°; les cages mesuraient 95 × 50 × 35 cm.

Mes résultats furent les suivants :

a. chez les moineaux alimentés à discrétion et éclairés 16 h par jour du 5 avril au 8 juillet, la quantité de nourriture absorbée quotidiennement diminua graduellement et tomba de 68 à 51 g (quantité calculée pour dix mâles). Les testicules ne pesaient plus que 182 mg à la fin du traitement alors qu'ils atteignaient 586 mg chez les individus sacrifiés après le premier mois;

b. les mâles capturés dans la nature et maintenus 10 jours en cage, à la lumière naturelle, ont ingéré en moyenne, chaque jour (quantité de graines considérée pour dix mâles) : 72 g en février et mars, 70 g en avril, 67,5 g en mai, 60 g en juin, 53 g en juillet, 63,5 g en août (mue postnuptiale), 70 g en septembre.

Des chasses échelonnées révélèrent qu'entre le milieu de mars et le milieu d'avril le poids des testicules passa de 40 à 502 mg puis, après une faible augmentation jusqu'au début de juillet (630 mg) [2], déclina rapidement pour atteindre 8 mg vers la fin d'août.

Le poids des moineaux, maximal en décembre (moyenne 30,6 g) alors que les testicules étaient tout petits (2,1 mg), diminua durant tout le printemps jusqu'à un minimum observé fin juin (26,5 g), époque à laquelle les testicules avoisinaient leur plus grand développement;

c. dans le cas des deux lots de 10 mâles illuminés 16 h chaque jour entre le 17 janvier et le 11 février, les mâles du lot astreint à une ration quotidienne de 57 g de graines présentèrent une réponse testiculaire cinq fois moindre (17 mg) que celle des mâles toujours ravitaillés, dont la consommation globale journalière était de 71 g de graines. Les glandes génitales des sujets limités n'atteignaient jamais la maturité mais, par contre, celles des mâles rassasiés possédaient de nombreux spermatozoïdes.

Ces données montrent que :

— l'activité testiculaire, tant en captivité que dans la nature, s'accompagne d'une diminution de la quantité de nourriture ingérée;

— l'appétit se rétablit graduellement avec la régression saisonnière de la gonade;

— la réduction expérimentale de la nourriture compromet la réponse génitale des mâles illuminés en hiver.

Mes expériences suggèrent que le facteur nutritif, *sous l'aspect quantitatif seul apparent ici* [3], doit jouer un rôle dans le déroulement du cycle reproducteur du Moineau domestique. Il semble notamment justifié de penser que le fléchissement graduel des besoins alimentaires durant l'activité sexuelle, réduisant les apports nutritifs au-dessous d'une valeur que l'expérience révèle défavorable à la fonction testiculaire, concourt à entretenir des conditions métaboliques déficitaires, impropres à la gonadostimulation. Ainsi s'offre un nouvel élément, d'ordre interne, pour l'interprétation de l'avènement du repos saisonnier des nidicoles pendant la belle saison, alors que l'abondance de la nourriture et les longs jours d'été réalisent des conditions externes essentiellement propices à la reproduction [4].

Conclusions. — *a.* Durant l'activité sexuelle, naturelle ou induite par l'allongement artificiel des jours, l'appétit des moineaux mâles diminue graduellement jusqu'à l'avènement du repos génital.

b. La réduction expérimentale de la quantité de nourriture présentée compromet fortement le développement testiculaire des sujets illuminés en hiver.

c. Ces observations confirment l'importance de l'alimentation et la nécessité d'un niveau métabolique suffisamment élevé et prolongé pour le déroulement de la fonction reproductrice.

(1) L. Vaugien, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3352; 249, 1959, p. 1056; 250, 1960, p. 3220.

(2) Je ne peux confirmer la décroissance transitoire des testicules rapportée par L. T. Threadgold, *The Condor*, 62, n° 3, 1960, p. 190-201.

(3) Il est évident que l'aspect qualitatif de l'alimentation ne saurait être trop souligné, tant en captivité que dans la nature.

(4) La diminution de l'appétit paraît conditionnée par l'état physiologique découlant de l'activité de la gonade. En effet, j'ai constaté que l'injection de gonadotrophine sérique entraîne, en hiver, le développement des testicules du Moineau et la réduction de la quantité de graines consommée.

(Chaire de Biologie animale,
Faculté des Sciences, Rennes.)

PHYSIOLOGIE DE LA PHONATION. — *Principaux rôles physiologiques dévolus au pavillon pharyngo-buccal pendant la phonation.* Note de M. **Raoul Husson**, présentée par M. Maurice Fontaine.

Pendant la phonation, le pavillon pharyngo-buccal : *a.* est un mécanisme fortement absorbant placé à la sortie du larynx; *b.* adapte l'impédance ramenée sur le larynx aux pressions sous-glottiques réalisées; *c.* est un récepteur intéro et proprioceptif responsable d'actions réflectives multiples; *d.* impose une structure de bandes aux différentes voyelles.

1. Jusqu'en 1957 (1), le rôle phonatoire du pavillon pharyngo-buccal n'a été envisagé que sous l'angle de « renforcements » supposés offerts à certains harmoniques des fournitures laryngées, au surplus sans se soucier, ni de la constitution de ces fournitures, ni des absorptions subies par elles dans le pavillon.

2. Depuis 1957, nous avons approfondi l'étude des rôles physiologiques effectivement joués dans la phonation par la cavité pharyngo-buccale à l'aide des méthodes suivantes : 1° Étude des comportements glottiques à toutes les intensités et à toutes les fréquences de la voix humaine par la glottographie électrique de Philippe Fabre (2), et des fournitures glottiques par l'analyse directe au spectromètre de fréquences et par la théorie des écoulements hydrodynamiques intermittents laryngés. 2° Application de la théorie des pavillons d'Yves Rocard à la propagation acoustique intra-pharyngo-buccale (3). 3° Exploration acoustique de la cavité pharyngo-buccale, pendant la phonation, à l'aide de microphones de très petites dimensions (méthode de F. Gremy) (4). 4° Étude de l'impédance ramenée par le pavillon pharyngo-buccal sur le larynx par la glottographie électrique (5). 5° Étude des spectres vocaliques, à toutes les fréquences, à toutes les intensités, et pour tous les timbres de la voie humaine, par l'analyseur AF 12 de Pimonow n° 103, fonctionnant de 0 à 12 000 Hz avec une sélectivité de 30 Hz (3). 6° Prospection des plages sensitives buccales et pharyngées, pendant la phonation, par stimulation électrique, cocaïnisation ou refroidissement, avec observation stroboscopique ou électroglottographique concomitante des répercussions laryngées (6).

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit.

3. Premier rôle phonatoire du pavillon pharyngo-buccal. — Le pavillon pharyngo-buccal constitue en tout premier lieu un *mécanisme absorbant* placé à la sortie du larynx, qui impose aux fournitures laryngées des absorptions à la fois énormes et assez sélectives par rapport à la fréquence (4). Rapidement croissantes avec l'intensité, ces absorptions atteignent *grosso modo :* 10 dB (décibels) pour une pression acoustique de 40 dB à la sortie du larynx; 20 dB pour une pression acoustique

de 120 dB à la sortie du larynx; 30 dB pour une pression acoustique de 170 dB à la sortie du larynx.

4. SECOND RÔLE PHONATOIRE DU PAVILLON PHARYNGO-BUCCAL. — Il consiste à adapter l'*impédance ramenée* sur le larynx aux pressions sous-glottiques réalisées par le sujet (qui commandent l'intensité de la voix), conformément au rôle de tout pavillon ([3]). Cette impédance ramenée provient, par ordre d'importance : *a.* des absorptions sélectives ([4]) exercées par le pavillon; *b.* de l'impédance présentée par le goulot bucco-labial de sortie; *c.* de l'impédance de rayonnement résultant de l'entretien d'une onde progressive extérieure; *d.* de l'impédance présentée par l'utilisation éventuelle du pavillon accessoire nasal (impédance alors de valeur très élevée).

Cette impédance ramenée constitue un *mécanisme protecteur* des fins mécanismes neuro-musculaires rapides qui réalisent les ouvertures glottiques rythmées de la phonation ([5]), particulièrement nécessaire lors de la réalisation des grandes intensités du chant théâtral en vue d'équilibrer les pressions sous-glottiques et d'alléger les tonus glottiques réalisés.

5. TROISIÈME RÔLE PHONATOIRE DU PAVILLON PHARYNGO-BUCCAL. — Par l'intermédiaire des sensibilités internes incluses dans ses parois, le pavillon pharyngo-buccal joue en sus un rôle de *récepteur intéro et proprioceptif* vis-à-vis des pressions acoustiques et des turbulences qui s'y développent pendant la phonation. Ces sensibilités provoquent, par voie trijémello-réticulo-récurrentielle, un entretien permanent du tonus d'accolement des cordes vocales ([6]), et alimentent le *schéma corporel vocal* ([7]) par lequel le sujet apprécie son émission vocale en qualité et établit les *schémas d'action phonatoire* sur lesquels il règle ses « conduites pharyngo-buccales » ([8]) ultérieures.

6. QUATRIÈME RÔLE PHONATOIRE (SUBSIDIAIRE) DU PAVILLON PHARYNGO-BUCCAL. — Il consiste à imposer aux fournitures laryngées une *structure de bandes* qui constitue en propre la différenciation des voyelles. Cette structure de bandes résulte de la superposition de deux *spectres de bandes* d'origines totalement différentes :

1° Un *spectre d'harmoniques* qui reproduit celui des « sons propres » du pavillon [traduits analytiquement par la série des « valeurs propres » ([9]) de l'équation aux dérivées partielles qui représente la propagation acoustique en son sein].

2° Un *spectre d'absorption* (ou plutôt son *inverse*) résultant de l'énormité et de la sélectivité (par rapport aux fréquences) des absorptions provoquées par le pavillon ([4]), réalisant une sorte d'analogie acoustique avec les phénomènes de l'absorption sélective en Optique (*mutatis mutandis*).

Aux faibles intensités de la voix (moins de 60 dB au niveau du larynx), le spectre d'harmoniques est largement prépondérant quant à la fabri-

cation de « clochers d'intensité », et il impose sa structure aux spectres vocaliques.

Aux très grandes intensités de la voix (plus de 160 dB au niveau du larynx), le spectre d'absorption, qui réalise des « creux » de 30 dB, devient prépondérant, et impose sa structure très simplifiée aux spectres vocaliques.

Bien que seul considéré jusqu'à ce jour par la recherche phonétique, ce quatrième rôle phonatoire du pavillon pharyngo-buccal n'a en fait qu'un caractère *subsidiaire* puisque l'intelligibilité du discours ne dépend que dans une très faible mesure de la reconnaissance isolée de chaque voyelle.

(1) R. HUSSON et L. PIMONOW, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1261.
(2) R. HUSSON, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3041.
(3) R. HUSSON, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1261 et 2551; 246, 1958, p. 3420; 247, 1958, p. 54; *J. Physiol.*, 50, 1958, p. 328; 51, 1959, p. 480.
(4) L. PIMONOW, P. POUTEAUX et R. HUSSON, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 280; R. HUSSON, *ibid.*, 251, 1960, p. 457.
(5) R. HUSSON, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2034.
(6) R. HUSSON, *J. Physiol.*, 50, 1958, p. 328.
(7) A. SOULAIRAC, *Rev. Laryngol.*, Bordeaux, 1955, p. 666.
(8) R. HUSSON, *La voix chantée*, Gauthier-Villars, Paris, 1960; chap. V.
(9) G. UNGEHEUER, *Z. Phon.*, 10, 1957, p. 245 et 345; 11, 1958, p. 35; *Untersuchungen zur Vokalartikulation*, Dissertation, Bonn, 1958.

ENDOCRINOLOGIE. — *Action inhibitrice du testicule de l'embryon de Poulet sur le développement de l'ovaire embryonnaire de Souris.* Note (*) de Mlle **Berthe Salzgeber**, présentée par M. Robert Courrier.

Des gonades embryonnaires de Souris et de Poulet, associées en culture, sont greffées dans un jeune embryon de Poulet. Le testicule de Poulet exerce une action inhibitrice sur le développement des follicules primordiaux de l'ovaire de Souris.

On sait, d'après les recherches d'Ét. Wolff ([1]), que les gonades embryonnaires indifférenciées de Souris, cultivées sur le milieu standard d'Ét. Wolff et K. Haffen, évoluent en ovaires ou en testicules caractéristiques. La survie de tels explants varie entre 5 et 9 jours.

Des associations xénoplastiques de gonades de Souris et d'Oiseau, réalisées en culture par Ét. Wolff et J.-P. Weniger ([2]), ont démontré la tolérance mutuelle des deux organes qui s'associent de façon intime.

Mc Intyre ([3]), greffant des gonades associées d'embryons de Rat de même sexe ou de sexe différent dans des Rats adultes castrés, obtient une inhibition du développement de l'ovaire lorsque celui-ci évolue au contact du testicule.

L'implantation, dans un jeune embryon de Poulet, d'organes associés en culture, permet de suivre leur développement, leur différenciation, et d'étudier les interactions entre gonades de provenances diverses, de même sexe ou de sexe opposé.

Les ovaires embryonnaires de Souris sont prélevés entre le 14e et le 18e jour de la gestation. Ils sont associés, en culture, sur le milieu standard d'Ét. Wolff et K. Haffen, avec des gonades mâles et femelles d'embryons de Poulet âgés de 7 à 9 jours. Après 3 à 5 jours de culture, les organes sont greffés dans le cœlome d'un jeune embryon de Poulet où ils évoluent jusqu'au stade de l'autopsie de l'hôte (14 à 16 jours).

Sur 50 associations, nous avons obtenu :

24 parabioses : ovaire de Souris-ovaire de Poulet,

et 26 couples hétérosexués : ovaire de Souris-testicule de Poulet.

Ces associations évoluent et subissent une bonne croissance dans l'embryon hôte. Le séjour préalable en culture favorise la greffe et le développement des organes de Souris. Les deux explants sont étroitement accolés. L'étude histologique de ces associations révèle une différence nette dans l'évolution des gonades de Souris selon que celles-ci sont associées à l'ovaire ou au testicule de Poulet.

En parabiose avec une glande génitale ♀ de Poulet, l'ovaire de Souris se développe, s'accroît, se différencie. Les deux organes sont intimement liés et les tissus de Souris occupent souvent une partie de la médullaire

ovarienne de Poulet. On distingue de nombreux ovocytes contenant un abondant cytoplasme, et des follicules primordiaux, constitués d'une seule assise de cellules folliculeuses.

Au contact du testicule, le développement de l'ovaire de Souris est nettement inhibé. La gonade est réduite. Dans de nombreux cas, on observe seulement quelques ovocytes avec leur cytoplasme. Les follicules primordiaux sont absents ou peu évolués. Parfois ils sont altérés. Cette inhibition est d'autant plus marquée que l'ovaire est prélevé à des stades plus précoces du développement ainsi que le montrent les résultats du tableau ci-joint.

	S♀ P♀			S♀ P♂		
Stade de prélèvement de l'ovaire de Souris.	Nombre de greffons.	Présence de follicules primordiaux. Nombre de cas.	Absence de follicules (*a*) ou follicules dégénérés (*d*).	Nombre de greffons.	Présence de follicules primordiaux. Nombre de cas.	Absence de follicules (*a*) ou follicules aberrants (*d*).
14 jours......	1	1	–	1	–	1 (*a*)
15 »	5	5	–	2	–	2 (*a*)
16 »	4	4	–	10	1	5 (*a*) 4 (*d*)
17-18 »	14	12	2 (*d*)	13	3	10 (*d*)
Total........	24	22	2	26	4	22

Sur 24 ovaires de Souris associés aux gonades femelles de Poulet, 22 présentent un bon développement caractérisé par l'accroissement de l'ovaire et l'évolution d'un grand nombre d'ovocytes en follicules primordiaux. A l'inverse, les 26 ovaires évoluant au contact de testicules de Poulet ont une croissance réduite. Si les organes de Souris sont prélevés à des stades précoces (14 à 16 jours) les follicules primordiaux sont absents. Si l'association est effectuée avec des organes plus âgés, 17 à 18 jours, les ovocytes évoluent en follicules, mais ceux-ci présentent des signes de déficience.

Conclusions. — Les ovaires de Souris associés aux gonades de Poulet évoluent favorablement dans l'embryon de Poulet après un séjour préalable de 2 à 5 jours en culture. La gonade femelle de l'embryon de Poulet favorise le développement de l'ovaire de Souris; de nombreux ovocytes évoluent en follicules primordiaux. Le testicule, par contre, inhibe le développement de l'ovaire. Il est vraisemblable que l'hormone mâle élaborée par la gonade de Poulet empêche l'évolution des ovocytes en follicules primordiaux caractéristiques.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 1712.

(2) *J. Embr. Exp. Morph.*, 2, 1954, p. 161.

(3) *Anat. Rec.*, 124, 1956, p. 27.

(*Laboratoire d'Embryologie expérimentale du Collège de France et du C. N. R. S.*)

NUTRITION. — *Rôles nutritionnels de la prolactine, de la progestérone et du benzoate d'œstradiol administrés seuls ou en association à la Ratte castrée. Effets sur la croissance pondérale.* Note (*) de

M[lles] **Geneviève Bourdel, Odette Champigny** et M. **Raymond Jacquot** (1), présentée par M. Robert Courrier.

Injecté à la Ratte adulte castrée, le benzoate d'œstradiol entraîne une perte de poids, alors que la prolactine et surtout la progestérone provoquent des gains pondéraux. Les résultats obtenus avec l'association de ces hormones traduisent le rôle nutritionnel propre de chacune d'entre elles.

Du point de vue nutritionnel, la gestation se caractérise par des facultés anabolisantes qui permettent à la mère de réaliser un gain de poids vif, compte non tenu des produits de la conception. Cet anabolisme gravidique, auquel ne semblent pas participer les fœtus (2), est sous la double dépendance des ovaires pendant la progestation et des placentas par la suite (3). Pour tenter d'en trouver l'agent responsable, il a paru intéressant d'étudier les effets nutritionnels de la progestérone et de l'œstradiol, en tant que représentants des hormones ovariennes, et ceux de la prolactine, principale sécrétion placentaire chez le Rat (4). Ces hormones ont été injectées, seules ou en association, à des rattes adultes castrées depuis un mois. Les lots suivants, comprenant chacun 10 animaux, ont été constitués :

Lot C : témoins castrés;

» *CO* : castrats recevant chacun 1,5 μg de benzoate d'œstradiol (15 U. I.) par jour, ce qui correspond à la quantité nécessaire pour maintenir la gestation chez la Ratte castrée (5);

» *CP* : castrats recevant chacun 100 U. I. de prolactine par jour, dose capable de transformer les corps jaunes cycliques en corps jaunes fonctionnels chez la Ratte non gravide (6);

» *CP g* : castrats recevant quotidiennement 3 mg de progestérone, dose qui assure une bonne synergie œstro-progestative chez la Ratte (7);

» *CPO* : association 100 U. I. de prolactine + 1,5 μg d'œstradiol;

» *CP g O* : association 3 mg de progestérone + 1,5 μg d'œstradiol;

» *CP g P* : association 3 mg de progestérone + 100 U. I. de prolactine;

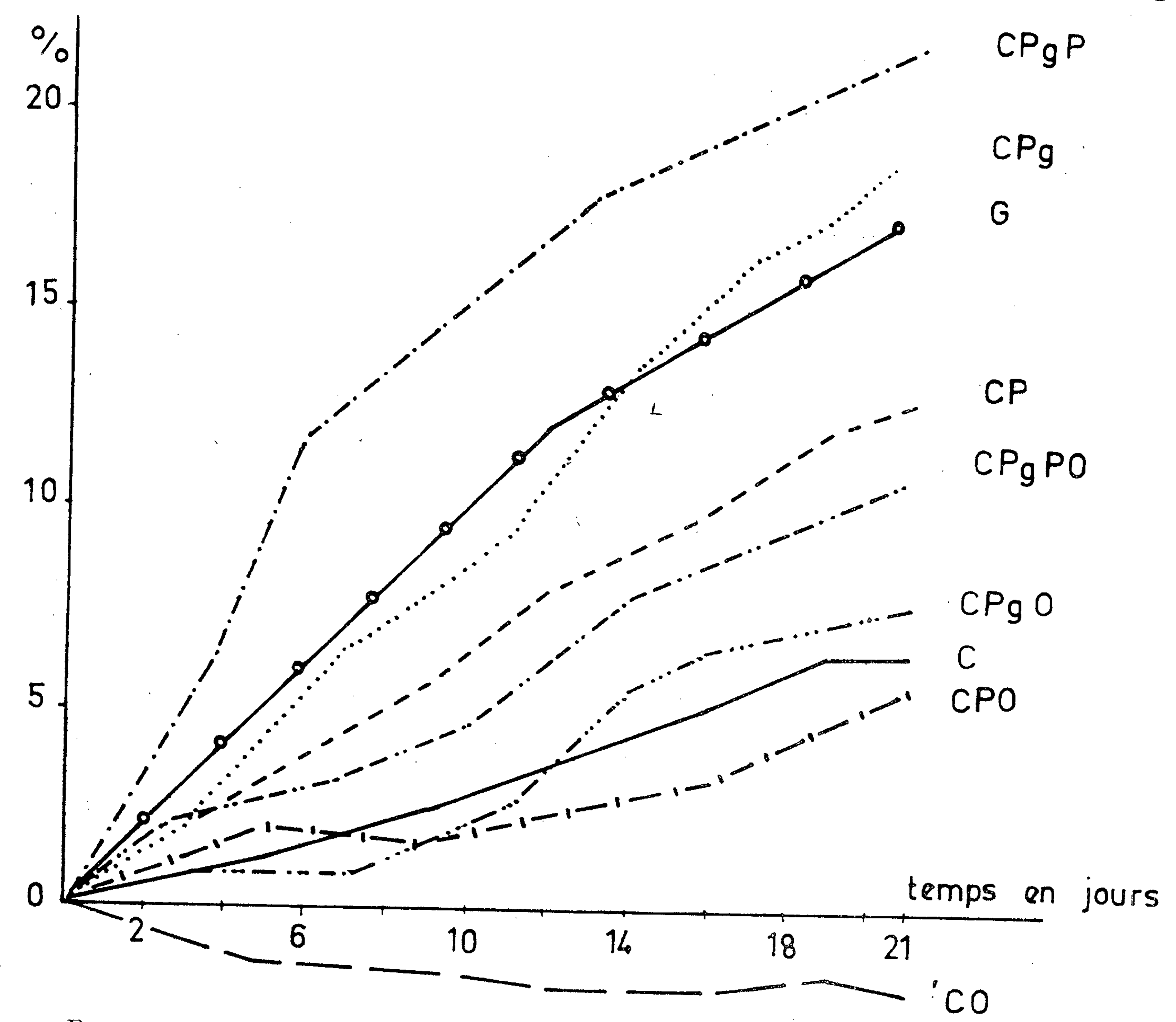
» *CP g PO* : association 3 mg de progestérone + 100 U. I. de prolactine + 1,5 μg d'œstradiol;

» *G* : gestantes dont on soustrait du poids global le poids du contenu utérin, fœtus et annexes.

L'expérience s'est poursuivie 21 jours, durée normale de la gestation, pendant lesquels les animaux recevaient un régime riche en protides et

en vitamines. Le graphique suivant représente les augmentations de poids en pourcentage du poids initial.

Les témoins castrés (lot C) accusent une légère prise de poids de l'ordre de 6 %, soit en moyenne 0,8 g par ratte et par jour. L'administration de benzoate d'œstradiol (lot CO) entraîne une chute de poids régulière de 5 g



Pourcentage de gain de poids par rapport au poids du premier jour de l'expérience.

environ par sujet pour la durée de l'expérience. A l'inverse, l'injection de prolactine, et surtout de progestérone, détermine un gain pondéral appréciable : en moyenne le lot CP gagne 13 % de son poids initial, ce qui correspond à une prise de poids de 1,6 g par animal et par jour; le lot CP *g* accuse une augmentation pondérale de 19 %, soit un gain moyen de 2,2 g par sujet et par jour. Les associations traduisent les effets propres de chaque hormone. Ainsi, l'effet positif de la prolactine est neutralisé par l'effet négatif de l'œstrogène et la courbe de croissance du lot CPO est irrégulière et inférieure à celle des témoins du lot C. La stimulation induite par la progestérone réussit à l'emporter sur l'effet dépressif de l'œstradiol et le lot CP g O accuse un gain de poids de 7,5 % légèrement supérieur à celui des témoins. L'association « prolactine + progestérone » est la

plus favorable et le gain moyen du lot CP g P atteint 21 %, soit un développement individuel de 2,6 g par jour. Enfin, l'injection simultanée des trois hormones détermine un bénéfice pondéral de 11 % et la courbe de poids du lot CP g PO demeure inférieure à celle des gestantes (lot G), compte non tenu des fœtus et des annexes. Dans les deux cas, les gains de poids sont nettement plus faibles que ceux réalisés sous l'effet de la progestérone ou de l'association « progestérone + prolactine », ce qui confirme le caractère dépressif de l'œstrogène. Il est évident que les effets nutritionnels d'associations hormonales, qu'il s'agisse de synergies ou d'antagonismes, dépendent des doses de chaque hormone utilisée. Néanmoins, nous voyons que la progestérone et la prolactine peuvent être impliquées dans l'anabolisme pondéral des gestantes, alors que l'œstrogène entraîne des pertes de poids et neutralise les effets positifs des deux autres hormones. Ces résultats mettent l'accent sur la dualité des effets nutritionnels des hormones gravidiques. Pour mieux les préciser, il est nécessaire d'étudier d'autres critères, tels que la rétention azotée et la composition corporelle, dont il sera question dans une prochaine publication.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) Avec la collaboration technique de M. A. de Saintaurin.

(2) P. Rombauts, G. Bourdel et R. Jacquot, *Arch. Sc. Physiol.*, 10, 1956, p. 173.

(3) G. Bourdel, *Thèse dr. Sc.*, Paris, 1960.

(4) R. Canivenc, *Thèse Dr. Médec.*, Bordeaux, 1956.

(5) W. R. Lyons, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 54, 1943, p. 65.

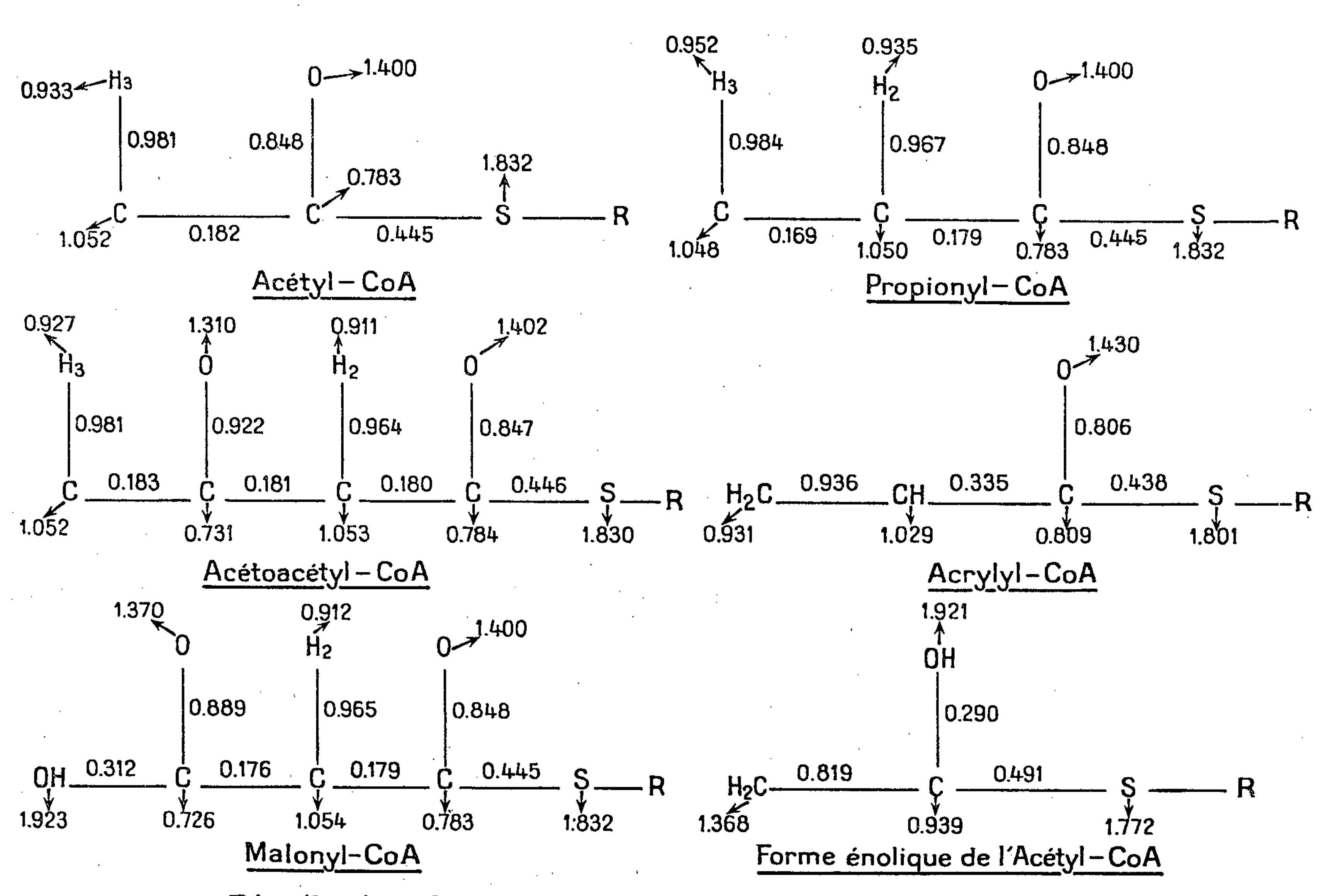
(6) G. Mayer, *Arch. Sc. Physiol.*, 5, 1951, p. 247.

(7) G. Mayer, *Ouest-Medical*, 8, 1955, p. 7.

(*Laboratoire de Biochimie de la Nutrition du C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE. — *Aspects électroniques des transformations biochimiques catalysées par la coenzyme A* [1]. Note [*] de M. **Bernard Pullman**, présentée par M. Louis de Broglie.

La figure représente certains aspects de la structure électronique des principaux types de composés intervenant dans les réactions biochimiques catalysées par la coenzyme A (CoA). Nous n'avons représenté dans chaque cas que les résultats concernant le fragment terminal du cofacteur, ce



Distribution des charges électriques (au bout des flèches) et des indices de liaison mobile (sur les liaisons).

fragment étant seul impliqué directement dans les transformations enzymatiques [2].

Nos résultats permettent une interprétation simple des principales réactions métaboliques mettant en jeu la CoA [3]. Les caractéristiques essentielles des acyl-CoA, visibles sur l'exemple de l'acétyl-CoA, sont l'existence d'un fort défaut d'électrons sur le carbone du groupement carbonyle et d'un léger excès d'électrons sur le carbone du groupement méthyle. La première de ces caractéristiques est responsable de l'ensemble des réactions d'acétylation opérées par le cofacteur (par exemple, acétylation de la sulphanilamide), la seconde de l'ensemble des réactions de condensation parmi lesquelles une des plus importantes est la synthèse de l'acide citrique, par réaction avec l'acide oxalacétique. La réaction de

la thiolase (interaction de deux acétyl-CoA avec la formation de l'acéto-acétyl-CoA), essentielle dans la synthèse des acides gras, est déterminée par les deux caractéristiques à la fois.

L'examen de la structure des dérivés plus complexes éclaire en particulier divers aspects de la synthèse et de la dégradation métabolique des acides gras. Ainsi, par exemple, on constate que dans l'acétoacétyl-CoA, l'indice mobile de la liaison C=O du β-carbonyle est plus élevé que l'indice mobile du groupe α-carbonyle et que le carbone du groupe β-carbonyle est plus déficient en électrons que le carbone du groupe α-carbonyle. Cet état de choses rend compte de l'hydrogénation préférentielle de la première de ces liaisons lors de la synthèse des acides gras et de son attaque préférentielle par la CoA dans la dégradation de ces acides. De même, le fait que dans l'acrylyl-CoA l'indice mobile de la liaison C=C est plus élevé que celui de la liaison C=O rend compte de l'hydrogénation préférentielle de la première de ces liaisons dans la synthèse des acides gras et le sens de la polarité de cette liaison C=C rend compte, de plus, du sens de fixation des éléments d'hydratation.

La carboxylation des acyl-CoA peut également être liée à la charge négative des carbones des groupes méthyléniques ou méthyliques. La carboxylation enzymatique du propionyl-CoA sur le carbone α-méthylénique [4] est en accord avec le fait que la charge de ce carbone est supérieure à la charge du carbone méthylique. En relation avec la proposition récente de Calvin [5], il peut aussi être utile de souligner la forte concentration de la charge négative sur le carbone terminal de la forme énolique de l'acétyl-CoA.

Les acyl-CoA sont des composés « riches en énergie ». Cette richesse doit provenir essentiellement [6] de la répulsion électrostatique (liée en particulier au caractère bipositif de la liaison S-acyl) et de l'énergie libre d'ionisation.

Une publication séparée présentera les détails des calculs et une discussion plus complète des résultats.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) Ce travail a bénéficié d'une subvention (CY-3073) du Public Health Service des États-Unis.

(2) Calculs effectués par la méthode des orbitales moléculaires, dans l'approximation L. C. A. O. Pour les généralités sur la méthode *voir* par exemple B. PULLMAN et A. PULLMAN, *Les théories électroniques de la chimie organique*, Masson, Paris, 1952.

(3) Pour des exposés généraux *voir* par exemple F. LYNEN, *J. Cell. and Comp. Physiology*, 54, 1959, sup. 1, p. 33; L. JAENICKE et F. LYNEN dans *The Enzymes*, P. D. Boyer, H. Lardy et K. Myrbäck, Academic Press, New-York, III, 1960, p. 3; P. K. STUMPF et G. A. BARBER dans *Comparative Biochemistry*, M. Florkin et H. S. Mason, Academic Press, New-York, 1960; F. M. HUENNEKENS et H. R. WHITELEY, *ibid.*

(4) M. FLAVIN et S. OCHOA, *J. Biol. Chem.*, 229, 1957, p. 965.

(5) M. CALVIN et N. G. PON, *J. Cell. and Comp. Physiology*, 54, 1959, suppl. I, p. 51.

(6) Pour une discussion générale des différents facteurs susceptibles de contribuer à la « richesse énergétique » des molécules, *voir* B. PULLMAN et A. PULLMAN dans *Bioenergetics* (*Radiation Research*, suppl. 2, 1960, p. 160).

BIOLOGIE CELLULAIRE. — *Le métabolisme de la thymidine dans les cellules vitellines de l'ovaire chez* Drosophila melanogaster *Meig.* Note (*) de M. **Victor Nigon** et Mlle **Jacqueline Nonnenmacher**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

Des travaux classiques [1] ont démontré que la thymidine constitue un précurseur spécifique de l'acide désoxyribonucléique (ADN). Cependant, Brachet [2] a pu constater que, chez *Acetabularia mediterranea*, cette substance s'incorpore dans l'acide ribonucléique (ARN). Une autre observation récente [3] a montré que, dans une certaine mesure, la thymidine peut également remplacer l'uracile nécessaire à la synthèse de l'ARN chez *Bacillus cereus*, lorsque celui-ci est soumis à l'action de 6-azauracile. Au cours de recherches sur l'ovogenèse de la Drosophile nous avons constaté que la thymidine radioactive fournie à l'animal apparaît à la fois dans l'ADN et dans l'ARN des cellules vitellines.

Matériel et méthodes. — Les Drosophiles utilisées appartiennent à une souche sauvage *Lyon*, élevée dans des conditions standard [4]. Les imagos, âgées de trois jours, reçoivent, par injection dans l'abdomen, 0,3 à 0,6 μC de thymidine tritiée (New England Nuclear Corp.; 1100 mC/mM). Une heure après l'injection, les ovaires sont prélevés et fixés au Carnoy. L'autoradiographie est effectuée sur coupes à l'aide d'une émulsion pelliculable Kodak AR-10 avec un temps d'exposition de deux semaines. Une partie des coupes n'a subi aucun traitement préalable; d'autres sont traitées par l'acide trichloracétique à 5 %, ou par une solution de ribonucléase cristallisée ou par une solution de désoxyribonucléase. D'autres, enfin, ont subi l'action successive des deux enzymes précédentes.

Résultats. — L'incorporation la plus forte est observée dans les cystes qui subissent l'accroissement le plus rapide [stades 8 à 10 d'après la classification de King, Rubinson et Smith [5]]. A ce moment, le marquage est observé, dans les cellules vitellines, au-dessus des structures nucléaires (chromatine et plasmosomes), comme au-dessus du cytoplasme. De là, il s'étend dans le cytoplasme de l'ovocyte, dont le noyau, en revanche, reste entièrement dépourvu de marquage. Dans les stades les plus précoces de l'évolution des cystes, les marquages nucléaires l'emportent; dans les stades les plus évolués, l'intensité du marquage cytoplasmique tend à dépasser celle du marquage nucléaire.

L'action préalable de l'acide trichloracétique ne diminue en aucune façon l'intensité des marquages. La désoxyribonucléase réduit, à la fois, les marquages nucléaires et cytoplasmiques qui restent cependant relativement intenses. La ribonucléase réduit considérablement les marquages cytoplasmiques, mais touche beaucoup moins les marquages nucléaires.

Seule, l'action combinée des deux enzymes permet de faire disparaître la quasi-totalité de la radioactivité dans le noyau comme dans le cytoplasme.

Ces observations nous conduisent à conclure que la thymidine s'incorpore à la fois dans des structures sensibles à l'action de la désoxyribonucléase, situées principalement dans le noyau, et dans des structures ribonucléiques localisées dans le noyau et dans le cytoplasme.

Discussion. — Les résultats que nous avons obtenus présentent une analogie frappante avec les observations faites chez la Drosophile par Zalokar [6] et par Sirlin et Jacob [7]. Ces auteurs, utilisant des précurseurs spécifiques de l'ARN, constatent que ceux-ci sont incorporés d'abord dans l'ARN des noyaux des cellules vitellines; cet ARN passe ensuite dans le cytoplasme. En admettant que le même processus intervienne après incorporation de la thymidine, deux hypothèses peuvent être envisagées :

1° L'incorporation de la thymidine dans l'ARN s'effectue indépendamment de son incorporation dans l'ADN. Cette hypothèse conduirait à supposer qu'une partie de la thymidine subit, par exemple en perdant un groupement méthyl, une transformation en un dérivé de l'uracile, précurseur de l'ARN. Cette hypothèse n'est certes pas invraisemblable; néanmoins, elle ne peut s'appuyer sur aucun autre fait actuellement connu.

2° L'incorporation de la thymidine s'effectuerait d'abord dans l'ADN dont une partie serait ensuite transformée en ARN. Cette hypothèse oblige à admettre l'existence, très discutée à l'heure actuelle [8], d'un ADN « métabolique » à renouvellement plus ou moins rapide, s'opposant à l'ADN « génétique » qui manifeste, au contraire, une stabilité remarquable. On notera seulement que diverses observations portant sur les chromosomes polytènes des Diptères montrent que des régions limitées y sont le siège d'une synthèse transitoire mais disproportionnée d'ADN, associée à une incorporation active de précurseurs spécifiques [9]. La seconde hypothèse que nous envisageons pourrait trouver, dans ces exemples, une certaine analogie.

Dans l'immédiat, nos observations ne suffisent pas pour trancher entre ces deux hypothèses. Des expériences sont actuellement en cours en vue de résoudre ce problème.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) M. Friedkin, D. Tilson et D. Roberts, *J. Biol. Chem.*, 220, 1956, p. 627.
(2) J. Brachet, *Exp. Cell. Res.*, 14, 1958, p. 650-651.
(3) B. H. Sells, *Bioch. bioph. Acta*, 40, 1960, p. 548-549.
(4) J. David, *Bull. biol. Fr. Belg.*, 93, 1959, p. 472-505.
(5) R. C. King, A. C. Rubinson et R. F. Smith, *Growth*, 20, 1956, p. 121.
(6) M. Zalokar, *Exp. Cell. Res.*, 19, 1960, p. 184-186.
(7) J. L. Sirlin et J. Jacob, *Exp. Cell. Res.*, 20, 1960, p. 283-293.
(8) J. G. Gall et W. W. Johnson, *J. bioch. bioph. Cytol.*, 7, 1960, p. 657-665.
(9) A. Ficq et C. Pavan, *Nature*, 180, 1957, p. 983-984; H. F. Stich et J. K. Naylor, *Exp. Cell. Res.*, 14, 1957, p. 442-445; G. T. Rudkin et S. L. Corlette, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 43, 1957, p. 964-968.

(*Laboratoire de Zoologie expérimentale, Faculté des Sciences, Lyon.*)

BIOLOGIE MARINE. — *Rapports caractéristiques entre les principaux Unicellulaires du plancton, dénombrés en sept régions des mers chaudes.* Note (*) de M. **Francis Bernard**, présentée par M. Louis Fage.

Diverses régions de la Méditerranée sont comparées à cet égard avec l'océan Indien central, et avec la zone entre le Sénégal et les Açores. Les *Cyclococcolithus*, dominants par leur volume, sont rapportés, soit aux Syracosphæraceæ, soit aux *Exuviella*, soit aux Flagellés nus. Enfin, le total des Flagellés est rapporté à celui des *Nostoc*. Chaque région offre un ou deux rapports très caractéristiques, et souvent peu variables selon les couches, même jusqu'à 3 000 m.

Depuis longtemps, les océanographes recherchent des propriétés biologiques caractéristiques de chaque région naturelle marine, d'après certaines espèces ou d'après les rapports quantitatifs entre elles. En ce qui concerne le nannoplancton, les méthodes correctes de comptage, récentes, étaient encore appliquées à trop peu de mers chaudes pour permettre de telles investigations. Ce n'est qu'en 1933 que Steemann-Nielsen ([1]) a étendu au plancton microscopique le procédé d'Utermöhl pour la numération des Bactéries. Depuis lors, les rares spécialistes mondiaux de ces techniques ont surtout étudié la couche ensoleillée des mers froides. Il restait, pour établir des comparaisons valables, à opérer à des niveaux variés des mers chaudes et durant une saison uniforme. Un premier essai dans ce but, limité à juin-juillet mais fournissant des chiffres très instructifs, vient d'être réalisé par nous. Les moyennes reposent, pour chaque région, sur une centaine de prises d'eau ou davantage, faites jusqu'à 500 m (Gibraltar, Sénégal), 1000 m (océan Indien), 2 000 m (Algérie, Monaco) et 3 500 m (Méditerranée orientale). Voici l'indication sommaire des zones explorées, dont les autres résultats sont cités plus loin en référence :

De 6 à 12 milles au Sud de Monaco, 1936-1938 ([2]); détroit de Gibraltar : quatre stations en juin 1954 ([3]); Algérie occidentale, de 3 à 25 milles des côtes ([4]), et de 1949 à 1953; Méditerranée orientale : croisière de la *Calypso*, en juillet 1955 ([5]); océan Indien central : croisière du *Norsel*, 1955-1956 ([6]); zone pélagique entre le Sénégal et les Açores : prises du *Président Théodore Tissier*, juin 1936 ([7]). Seule cette dernière zone n'a fourni que 38 échantillons d'eau, en 11 stations, mais les données sur leurs Flagellés sont ici assez uniformes pour permettre d'utiliser les moyennes, en raison de l'extrême fertilité locale, 3 à 5 fois plus grande que dans l'océan Indien et 10 à 50 fois plus qu'en Méditerranée.

Le tableau I est significatif par lui-même. Ici, on signalera brièvement une propriété remarquable des rapports obtenus, et certains aspects particuliers régionaux. Tout d'abord, fait inattendu et contraire aux notions classiques basées sur les mers froides, *un rapport déterminé change souvent assez peu verticalement pour permettre de caractériser tout un secteur marin,*

TABLEAU I.

Rapports caractéristiques, évalués par grandes couches marines pour sept régions. Chaque valeur a été obtenue en comparant les nombres moyens de cellules par millilitre, calculés pour juin-juillet, à l'exception de l'océan Indien central (parcouru par le « Norsel » de décembre 1955 à mars 1956). Max = rapport le plus élevé pour la région, avec, au-dessous, la couche correspondante en mètres. Min = rapport le plus faible, indiqué de même façon.

CF = *Cycloccolithus* du groupe *fragilis*, dont les amas palmelloïdes constituent partout, sauf à Monaco, 60 à 95 % du volume total de phytoplancton. Syr. = Flagellés calcaires de la famille des Syracosphæracæe. *Nostoc* = Myxophycée pélagique de 4 à 6 μ, sans doute la même partout.

Région étudiée...	Monaco.	Détroit de Gibraltar.	Algérie occidentale.	Sicile à Crète.	Crète à Grèce.	Océan Indien central.	Sénégal aux Açores.
Nombre total de prises d'eau..	500	93	1 075	205	129	105	38
CF/Syr.							
Max........	0,35	1,57	8,9	10,2	4,5	2,7	15,8
	0-50 m	75-200 m	250-800 m	3 000 m	1 000-2 500 m	250-800 m	350 m
Min.........	0,19	1,07	7,0	5,5	2,3	0,9	7,4
	1 000-2 000 m	0-50 m	0-50 m	1 000-2 500 m	250-800 m	0-50 m	50 m
CF/*Exuviella*							
Max........	36	40	46	7,9	17	27	62
	1 000-2 000 m	250-500 m	250-800 m	75-200 m	1 000-2 500 m	75-200 m	50 m
Min.........	22	14,4	17,5	1,08	0,76	14,3	53
	250-800 m	0-50 m	0-50 m	250-800 m	3 000 m	1 000 m	350 m
Flag. nus/CF							
Max........	2,9	9,8	2,5	2,0	2,17	4,5	3,9
	1 000-2 000 m	75-200 m	1 000-2 000 m	1 000-2 500 m	250-800 m	1 000 m	350 m
Min.........	1,7	8,2	1,6	1,1	1,08	1,86	3,3
	0-50 m	0-50 m	250-800 m	75-200 m	75-200 m	75-200 m	50 m
Total Flag./*Nostoc*							
Max........	3,7	18,6	8,1	6,0	240	4,4	128
	0-50 m	0-50 m	250-800 m	0-50 m	75-200 m	75-200 m	50 m
Min.........	0,44	15,7	3,5	1,5	52	0,35	30
	1 000-2 000 m	250-500 m	75-200 m	250-800 m	3 000 m	1 000 m	350 m
Rapport le plus caractéristique de la région...	CF/Syr.	Flag. nus/CF	Total Flag./*Nostoc*	CF/*Exuviella*	Total Flag./*Nostoc*	Total Flag./*Nostoc*	CF/Syr.

de la surface jusqu'aux eaux abyssales. En voici deux exemples, mais d'autres cas sont faciles à extraire du tableau :

De la Sicile à la Crête (stations 13 à 22 de la *Calypso*) le rapport CF/*Exuviella* varie de 1 à 8 entre 0 et 3 500 m. Il est donc relativement faible, puisqu'il va de 14 à 62 en dehors de la Méditerranée orientale, exceptionnellement riche en *Exuviella.* Au large de Monaco (49 stations et 500 prises d'eau effectuées en juin-juillet), le rapport CF/Syr. est très bas (0,19 à 0,35), et cela de 0 à 2 000 m. Partout ailleurs, il est 5 à 30 fois plus élevé : Monaco

est la seule zone où les *Cyclocccoolithus* fassent moins de 25 % du volume total de phytoplancton.

Pareille uniformité de rapports biologiques depuis la surface jusqu'aux plus grandes profondeurs est peu surprenante si l'on réfléchit à la biologie des organismes considérés. La plupart des Flagellés communs ici, et aussi les *Nostoc*, deviennent hétérotrophes dans les eaux sans lumière, et il se trouve que plusieurs équilibres quantitatifs entre groupes sont peu modifiés au-dessous de 200 m, mais encore fallait-il le démontrer. Sauf pour les Diatomées et les grands Péridiniens, la concurrence aboutit au succès du même groupe, qu'elle s'exerce en vie autotrophe ou non. Pour les petits Flagellés, ce qui doit compter alors ce n'est pas tellement la nourriture mais le pH et l'oxygène locaux, souvent assez uniformes dans toute une mer. Ainsi, la Méditerranée est, dans son ensemble, plus oxygénée et à pH plus élevé que les Océans, d'où le succès régional des Syracosphæraceæ.

Le détroit de Gibraltar est curieux par la prépondérance des Flagellés nus, 2 à 8 fois plus abondants qu'ailleurs. Ils supportent donc mieux que les autres Protistes le milieu local très agité et trouble.

L'Algérie occidentale, à part le surcroît de *Nostoc*, a des propriétés communes avec Gibraltar, dont elle reçoit le courant atlantique permanent.

En Méditerranée orientale, si riche en *Exuviella*, les Flagellés nus sont rares, ce qui paraît attribuable aux salinités élevées : il y en a particulièrement peu au-dessus de 38,8 %.

L'océan Indien offre souvent des rapports voisins de ceux de Monaco. Ces deux zones, si différentes par la fertilité totale, ont en commun, pour les stations étudiées ici, des eaux très pures et peu envasées, favorisant *Nostoc* et Syracosphæraceæ. Enfin, la région entre le Sénégal et les Açores, plutôt pauvre en Syracosphæraceæ et en *Exuviella*, est aussi dépourvue de *Nostoc* que le Sud de la Grèce. La fréquence de vase en suspension doit expliquer ces déficiences et se révèle partout un facteur essentiel pour les équilibres entre groupes dominants du plancton.

(*) Séance du 3 octobre 1960.
(1) *Journ. du Conseil*, 8, 1933, p. 201-210.
(2) *Ann. Inst. Océanogr.*, 17, 1938, p. 349-406.
(3) *Bull. Inst. Océanogr.*, n° 74, 1956, 22 pages.
(4) *Ann. Inst. Océanogr.*, 31, 1956, p. 231-334.
(5) *Ann. Inst. Océanogr.*, série *Clypso*, 1961 (sous presse).
(6) *Bull. Inst. Océanogr.*, n° 1166, 1960, 59 pages.
(7) *Rev. des Trav. Off. des Pêches*, 10, fasc. 3, 1937.

BIOCHIMIE. — *Inhibition de l'adaptation respiratoire de la levure par des analogues structuraux des pyrimidines* (¹). Note (*) de Mme **Lucienne Audrain-Legault-Demare** et M. **Piotr P. Slonimski**, présentée par M. Antoine Lacassagne.

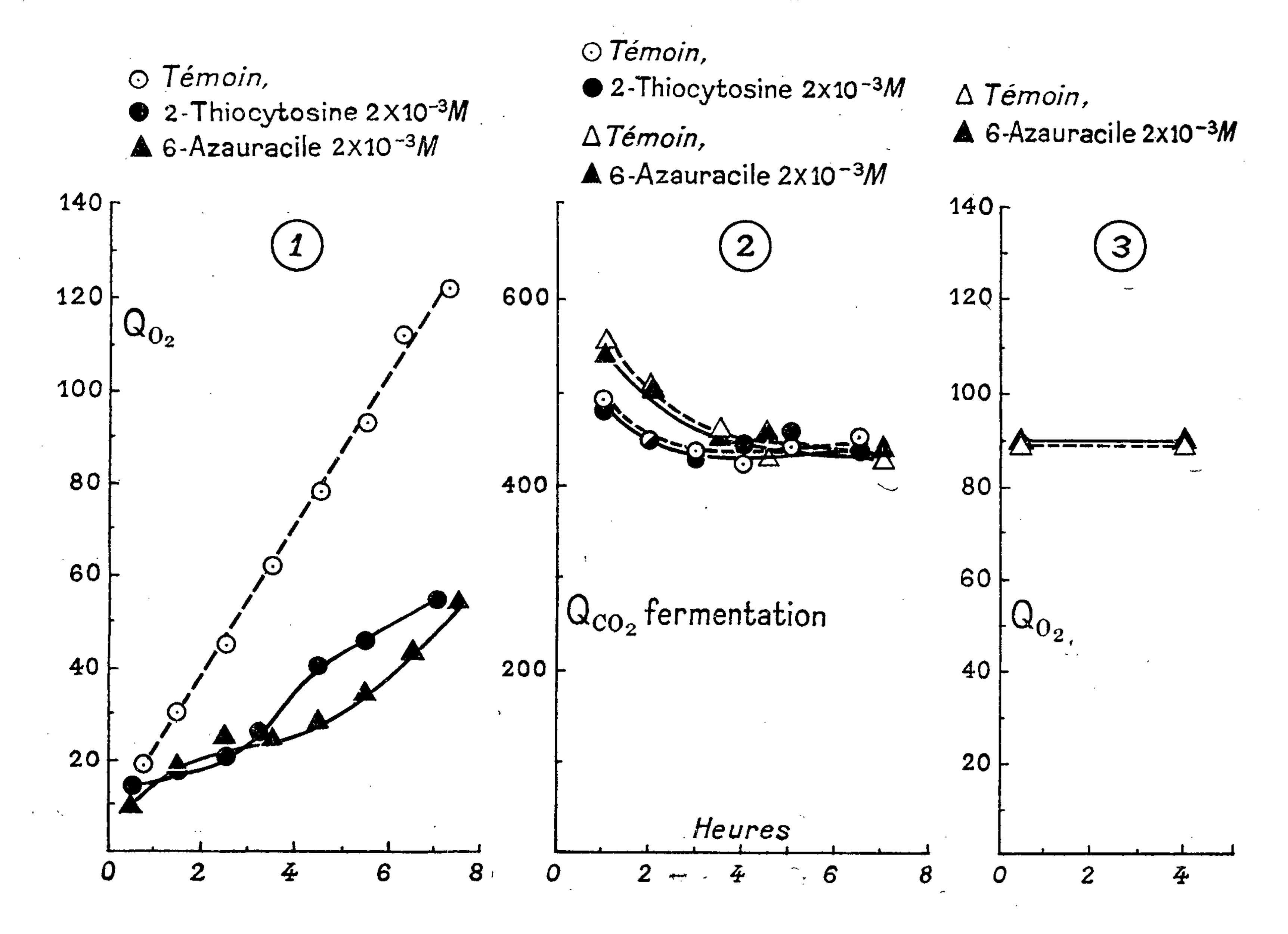
Deux analogues structuraux des pyrimidines (le 6-azauracile et la 2-thiocytosine) inhibent l'adaptation respiratoire de la levure sans inhiber son métabolisme général. La formation des enzymes suivantes : cytochrome-oxydase, succinocytochrome-*c*-réductase, fumarase, L-lacticodéshydrogénase aérobie et D-lacticocytochrome-*c*-réductase aérobie, est inhibée sensiblement au même degré par le 6-azauracile.

On sait que la formation induite des enzymes respiratoires est un processus complexe réglé par un ensemble de facteurs parmi lesquels interviennent les purines et les pyrimidines ([2]) ainsi que certains facteurs oligosaccharidiques ([3]), ([4]), ([5]).

Afin de préciser le rôle joué par les bases d'acides nucléiques, nous avons étudié l'action de différents analogues structuraux de ces dernières sur l'adaptation respiratoire de la levure (souche Yeast Foam, prototrophe quant aux besoins en purines et pyrimidines). L'interaction entre les analogues structuraux et les facteurs oligosaccharidiques fait l'objet de la Note suivante ([8]).

Nous avons travaillé avec des cellules hautement adaptables c'est-à-dire capables d'atteindre en quelques heures le maximum de leur capacité respiratoire ($Q_{O_2} \geqq 100$) lorsqu'elles sont aérées en absence de toute source d'azote exogène. Les levures, cultivées en anaérobiose et lavées à froid, sont mises en présence de l'analogue en même temps qu'on admet l'air; l'adaptation est suivie, à 28°, en tampon phosphate-phtalate-succinate, pH 4,5, glucosé à 20 mg/ml, par la mesure de la vitesse de respiration. Dans ces conditions, deux analogues des pyrimidines : 6-azauracile (1.2.4-triazine-3.5-dione) et 2-thiocytosine (4-amino-2-thiopyrimidine) se sont révélés inhibiteurs de l'adaptation respiratoire (*fig.* 1). L'inhibition est spécifique de cette dernière puisque le métabolisme général des mêmes cellules, mesuré simultanément par la vitesse de fermentation aérobie du glucose, n'est pas inhibé. Bien qu'on observe d'une expérience à l'autre de petites différences dans l'évolution du Q_{CO_2} aérobie des témoins, les analogues des pyrimidines ne produisent absolument aucun effet sur la fermentation (*fig.* 2). Ces analogues sont également sans effet sur l'activité des enzymes respiratoires déjà formées, mesurée par la vitesse de respiration des cellules complètement adaptées (*fig.* 3). Il faut noter qu'en absence d'analogue la vitesse de respiration (Q_{O_2}) s'accroît de façon linéaire en fonction du temps et que la mesure de cette accélération, c'est-à-dire la vitesse de l'adaptation (A_{O_2}), est de 14 à 16 $\mu l/O_2$ par heure et par milligramme de poids sec [*cf.* ([2])]. En présence d'analogue, la cinétique d'adaptation respiratoire est plus complexe : dans le cas de l'azauracile

l'inhibition est maximale au début de l'adaptation et diminue à partir de la 4e heure environ. En présence de thiocytosine, l'adaptation semble évoluer suivant une courbe en S. Pour tenir compte de ces variations de vitesse d'adaptation il nous a paru préférable d'exprimer les résultats sous forme de quantité totale d'oxygène consommé durant les six premières heures d'adaptation. De cette façon le degré d'inhibition de l'adaptation se trouve sous-estimé mais devient d'autant plus significatif. Les concen-



trations qui réduisent de moitié l'adaptation respiratoire sont de l'ordre de $1,3.10^{-3}$ M pour l'azauracile et de 2.10^{-3} M pour la thiocytosine. *L'uracile, à une concentration même* 10 *fois plus faible que celle du* 6-*azauracile, empêche déjà complètement l'inhibition due à ce dernier.*

Plusieurs autres analogues des purines et pyrimidines éprouvés à des concentrations allant jusqu'à 5.10^{-3} M se sont révélés sans action inhibitrice dans nos conditions. Ce sont d'une part : la 8-azaguanine, la 2-hydroxypurine, la 6-méthyl-2-thiopurine, la 6-amino-2-hydroxypurine, la 2.6-di (diéthylamino)-purine, d'autre part, le 2-thiouracile, les 5-bromo- ou 5-fluoro- ou 5-nitrouraciles, la 2.6-dichloropyrimidine, la 2-amino-4-méthylpyrimidine, la dihydrothymine, la 2-thiothymine, la 6-azathymine. Ces résultats négatifs n'excluent évidemment pas la possibilité d'une action inhibitrice dans d'autres conditions en particulier sur des cellules « peu adaptables » [*cf.* (2)].

Il reste à signaler le cas du 5-diazouracile : l'inhibition de l'adaptation respiratoire due à cet analogue peut relever d'un mécanisme moins spéci-

fique puisqu'il inhibe en même temps, bien qu'à un moindre degré, la fermentation aérobie.

L'inhibition par le 6-azauracile a été vérifiée au niveau de la formation des enzymes individuelles de la chaîne cytochromique en utilisant les techniques et dosages déjà employés dans le travail précédent [6]. La formation de chacune des enzymes est atteinte sensiblement au même degré; l'inhibition moyenne (pour une concentration de 2.10^{-3} M d'azauracile) est de 82 % pour la succinocytochrome-*c*-réductase, 62 % pour la fumarase, 84 % pour la L-lacticodéshydrogénase aérobie (enzyme O) [9] et 69 % pour la D-lacticocytochrome-*c*-réductase aérobie. Il est intéressant de noter que l'inhibition par le 6-azauracile affecte aussi bien la formation des enzymes s'effectuant à partir des acides aminés libres, comme c'est le cas pour la succinocytochrome-*c*-réductase et la fumarase, que celle des enzymes (L-lacticodéshydrogénase aérobie et D-lacticocytochrome-*c*-réductase aérobie) qui semble se produire à partir d'une enzyme préformée : la D-lacticodéshydrogénase anaérobie [6].

Il faut rappeler que des analogues structuraux d'acides aminés employés dans les mêmes conditions que ceux des pyrimidines ont permis de distinguer entre la biosynthèse *de novo* de plusieurs enzymes respiratoires et la conversion induite de la D-lacticodéshydrogénase anaérobie en L-lacticodéshydrogénase aérobie; en effet les analogues d'acides aminés n'inhibent pas la formation de cette dernière [6] ni celle de la D-lacticocytochrome-*c*-réductase [7].

Le fait que les analogues structuraux des pyrimidines (le 6-azauracile et la 2-thiocytosine) inhibent l'adaptation respiratoire sans inhiber le métabolisme général de la cellule indique que le métabolisme spécifique des pyrimidines, nécessaire pour la biosynthèse induite *de novo* des enzymes respiratoires, le serait également pour la conversion induite d'une enzyme préexistante en une enzyme de spécificité différente.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) 3e communication sur la nature chimique des substances qui stimulent la formation des enzymes respiratoires chez la levure. 2e communication (5).

(2) P. P. Slonimski, *Proc. 3rd Intern. Congr. Biochem.*, Academic Press, 1956, p. 242

(3) P. P. Slonimski et H. de Robichon-Szulmajster, *Ciba Found. Symp. on Drug Resistance*, 1957, p. 210-230.

(4) P. P. Slonimski, J. Defaye, J. Asselineau et E. Lederer, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 192.

(5) J. Defaye, P. P. Slonimski, G. Perrodin et E. Lederer, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 817.

(6) R. Kattermann et P. P. Slonimski, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 220.

(7) A. P. Nygaard, *Arch. Biochem. Biophys.*, 86, 1960, p. 317.

(8) L. Audrain-Legault-Demare, P. P. Slonimski, J. Defaye et E. Lederer, *Comptes rendus*, 251, 1960 (à paraître).

(9) F. Labeyrie, P. P. Slonimski et L. Naslin, *Biochim. Biophys. Acta*, 34, 1959, p. 262.

(Laboratoire de Chimie biologique de la Faculté des Sciences de Paris.
Laboratoire de Génétique physiologique
du Centre National de la Recherche Scientifique à Gif-sur-Yvette, Seine-et-Oise.)

PHARMACOLOGIE. — *De quelques actions exercées sur des organes à innervation autonome par quatre dérivés de l'amino-1 benzoyl-2 benzyl-2 éthane.* Note de MM. **Albert Lespagnol**, **René Hazard**, Mme **Annick Renier-Cornec**, MM. **Charles Lespagnol** et **Jean-Claude Cazin**, présentée par M. Léon Binet.

Les quatre produits étudiés dérivent de l'amino-1 benzoyl-2 benzyl-2 éthane. Ils diffèrent l'un de l'autre par les substituants portés par l'atome d'azote et répondent au schéma général suivant :

$$\begin{array}{c} C_6H_5-CO-\underset{\displaystyle \overset{|}{\underset{\displaystyle \overset{|}{R}}{CH_2}}}{CH}-CH_2-C_6H_5 \end{array}$$

Le tableau ci-dessous précise la nature du radical R.

N°	R.				
I..........	$-N(CH_3)_2-$	Diméthylamino-1	benzoyl-2	benzyl-2	éthane
II..........	$-N(C_2H_5)_2$	Diéthylamino-1	»	»	»
III..........	—N⟨pipéridine⟩	Pipéridyl-1	»	»	»
IV..........	—N⟨ ⟩O	Morpholino-1	»	»	»

Quelques essais physiologiques ont été faits sur des chiens, devenus si rares dans les laboratoires de recherches et des lapins.

Chez le Chien chloralosé I, II, III et IV exercent une action hypotensive. Les plus actifs sont I et III qui abaissent la pression carotidienne à la dose de 0,005 g [1]. L'hypotension est augmentée surtout en durée par la vagotomie ou l'action préalable de l'atropine.

Ces quatre produits combattent les effets vasculaires normaux de l'*acétylcholine* (5 μg). Les plus actifs sont II et IV qui amènent une diminution (pour IV = 0,01 g) nette et même la suppression de ces effets hypotenseurs.

I, II et III plus intensément que IV, augmentent les effets hypertenseurs de l'*adrénaline*.

Tous combattent les effets vasculaires de la *nicotine* (30 à 50 μg) pour des doses qui varient suivant les produits : le plus antinicotinique est IV; I et III suppriment les effets de l'alcaloïde à la dose de 0,01 g; II à la dose de 0,02 g.

Les essais que nous avons faits sur le Chat, trop peu nombreux pour qu'ils puissent être exposés en détail, ont donné les mêmes résultats, qualitativement, que sur le Chien.

Chez le Lapin endormi à l'uréthane (1,20 g/kg, voie intrapéritonéale) nous avons retrouvé l'action hypotensive exercée par les quatre produits,

le plus actif étant IV (0,005 g). L'effet *antiacétylcholinique* est à peine marqué pour I et III; il est manifeste pour II et IV, qui diminuent nettement l'hypotension produite par l'acétylcholine (5 μg).

En ce qui concerne l'*adrénaline*, ses effets hypertenseurs sont peu modifiés par I et II; maintenus ou augmentés par III; diminués par IV. C'est ce dernier produit qui augmente le plus faiblement, on l'a vu, les effets de l'adrénaline chez le Chien.

Les réactions du Lapin à la nicotine (100 μg) sont souvent difficiles à interpréter. Il semble que ses effets vasculaires soient peu modifiés par I, II et III, par contre IV (0,005 g) se montre, comme chez le Chien, un antinicotinique actif.

Les dérivés de l'amino-1 benzoyl-2 benzyl-2 éthane dont nous avons étudié quelques actions sur des organes innervés par le système nerveux autonome ne se différencient guère entre eux que par l'intensité relative de leurs effets hypotenseurs, antiacétylcholiniques, adrénalinotoniques, antinicotiniques, plus ou moins marqués suivant les modifications apportées à la fonction amine dont ils sont porteurs.

(1) Tous les produits ont été injectés par la voie intraveineuse aux doses indiquées par kilogramme d'animal.

VIROLOGIE. — *Multiplication du virus lapinisé de la peste porcine sur cellules de rein de lapin et contrôle de son pouvoir immunigène.* Note (*) de MM. **Robert Lang**, **Éleuthère Leftheriotis** et **Czeslaw Mackowiak**, présentée par M. Gaston Ramon.

Les premiers essais de culture sur tissu du virus sauvage de la peste porcine ([1]), ([2]) furent suivis d'une série d'autres travaux tant sur les cellules de moelle osseuse ([3]) ou de tissu splénique de porc ([4]) que sur d'autres variétés de tissus porcins ([5]), ([6]), ([7]), ([8]). Le but de nos recherches a été d'appliquer ces méthodes au virus suipestique, déjà adapté au lapin en essayant de lui conserver toute sa valeur immunigène.

Une suspension à 1/5e de pulpe splénique du 500e passage de la souche S. F. A. ([9]) a servi de virus de départ à ce travail.

Les cultures ont été faites à partir de reins de jeunes lapins pesant environ 1300 à 1400 g, trypsinés puis mis en culture en milieu Lactalbumine-Hanks et 10 % de sérum de poulain. Chaque passage de virus sur cellules correspondait à une dilution à 1/10e du passage précédent.

Pendant les six premiers passages trois séries ont été suivies avec des temps de passage différents. L'une de 3 en 3 jours, l'autre de 4 en 4 jours et la troisième de 5 en 5 jours. Seule la première a été ensuite retenue. Dans ces conditions, plus de 22 passages ont été obtenus jusqu'à ce jour et accompagnés de contrôles de sondage sur environ une cinquantaine de porcs. La souche de virus de la peste porcine ainsi obtenue présente les caractéristiques suivantes :

1° *Effet cytopathogène.* — A l'examen microscopique ordinaire cet effet paraît nul comme au cours de la culture du virus sauvage.

2° *Innocuité.* — Aucune réaction n'a pu être observée à la suite de l'inoculation de ce virus au porc.

3° *Pouvoir immunigène.* — Des porcs de 20 à 25 kg ont été vaccinés en intramusculaire avec 1 ml de virus des différents passages, soit purs, soit dilués. Les lots correspondant à chaque dilution étaient isolés dans des box séparés. Après des temps variables (12 jours pour le 22e passage

N° des porcs.	Dilution de Virus.	Résultats de l'épreuve.	N° des porcs.	Dilution de Virus.	Résultats de l'épreuve.
701........	10^{-8}	Mort	709.........	10^{-6}	Mort
702........	»	»	710.........	10^{-5}	Résiste
703........	»	»	711.........	»	»
704........	10^{-7}	»	712.........	»	»
705........	»	»	Témoin 1......	»	Mort
706........	»	»	Témoin 2......	»	»
707........	10^{-6}	»	Témoin 3......	»	»
708........	»	Résiste			

par exemple) une épreuve était faite, par voie sous-cutanée, avec 1 ml de sang de porc virulent, représentant environ 1 million de D. M. M. ([10]).

Parmi les résultats obtenus ceux du 22e passage sont rapportés dans le tableau ci-dessus où les porcs ayant résisté à l'inoculation n'ont présenté aucune réaction générale.

Quatre lots de trois porcs, inoculés chacun avec une dilution de virus différente de 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7} et 10^{-8}, ont ainsi permis d'établir, après épreuve, la dose protectrice 50 % du virus lapinisé passé sur culture de cellules de rein de lapin. Ce titre a été de $10^{-5,7}$ par millilitre.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

([1]) F. Hecke, *Zbl. Bakt. I. Orig.*, 126, 1932, p. 517.
([2]) C. Tenbroeck, *J. Exp. Med.*, 74, 1941, p. 427.
([3]) W. H. Boynton, *Vet. Med.*, 41, 1946, p. 346.
([4]) S. Frenkel, J. G. Bekkum et H. S. Frenkel, *Bull. Off. Int. Epiz.*, 43, 1955, p. 323.
([5]) D. P. Gustafson et C. M. Pomerat, *Amer. J. Vet. Res.*, 18, 1957, p. 473.
([6]) C. N. Dale et J. R. Songer, *Amer. J. Vet. Res.*, 18, 1957, p. 362.
([7]) C. N. Dale et J. R. Songer, *Amer. J. Vet. Res.*, 20, 1959, p. 304.
([8]) T. Kumagai, T. Shimizu et M. Matumoto, *Science*, 128, 1958, p. 366.
([9]) C. Mackowiak, E. Leftheriotis, R. Camand et P. Goret, *Bull. Acad. Vet. Fr.*, 30, 1957, p. 307.

([10]) D. M. M. = Dose Minima Mortelle pour le porc.

(Institut Français de la Fièvre aphteuse, Lyon.)

IMMUNOLOGIE. — *Recherche sur le moment d'apparition de l'immunité antiaphteuse post-vaccinale chez le Bœuf.* Note (*) de MM. **Félix Lucam** et **Maurice Fédida**, transmise par M. Gaston Ramon.

Lorsque, à la suite de la vaccination antiaphteuse chez le Bœuf, des temps sont indiqués, quant à l'installation de l'immunité, il est fait état, le plus souvent, d'une immunité « décelable » ou « appréciable » qui se manifesterait vers le 5e jour environ, et d'une immunité « complète » ou « totale » qui s'établirait vers le 15e jour, voire le 21e.

Ces données sont fort imprécises pour deux raisons.

La première est que jamais ces immunités dites « décelables » ou « appréciables, » ou « complètes » ou « totales » n'ont été bien définies; la seconde, qu'elles ont été appréciées par des méthodes qui ne permettaient en aucune façon de connaître quantitativement leurs valeurs respectives par l'expression du pourcentage d'animaux protégés, dans des conditions d'infection bien déterminées.

Pour aborder ce problème sous un angle essentiellement pratique, dont l'intérêt est considérable, et pour lever les objections que nous venons de faire, notre travail reposera sur les bases suivantes :

1° les immunités seront appréciées quantitativement au moyen de notre méthode dite de mesure de « l'indice de protection K » (1);

2° nous considérerons comme « début d'apparition de l'immunité », toute immunité révélant une valeur de K comprise entre $10^{0,6}$ et $10^{1,2}$, parce qu'elle correspond à la limite inférieure d'efficacité que nous avons retenue, pour une utilisation pratique des vaccins (1);

3° nous laisserons de côté la notion « d'immunité complète » ou « totale »;

ou bien, elle devrait signifier, en effet, que 100 %, ou presque, des animaux vaccinés seront protégés contre la maladie, alors que, dans le même temps et dans les mêmes conditions, 100 %, ou presque, des témoins devraient en être atteints. Dans ce cas, les vaccins de préparation industrielle courante, ne la provoqueraient que d'une manière tout à fait exceptionnelle (1);

ou bien, une autre valeur plus faible devrait lui être attribuée et aucune raison valable, dans l'état actuel de nos connaissances, ne nous paraît pouvoir justifier un choix quelconque.

Sur ces bases, l'expérience suivante est réalisée :

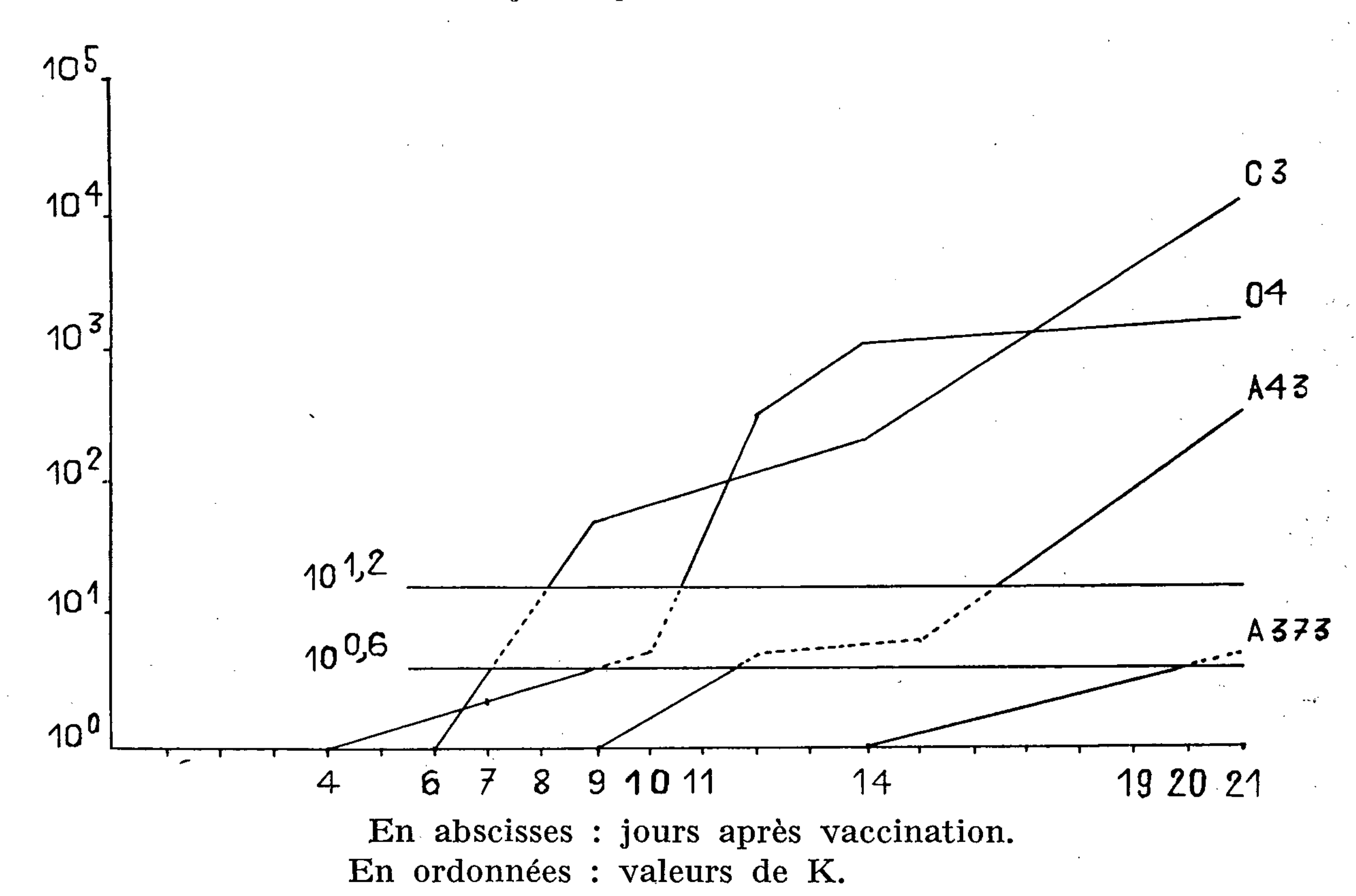
avec chacun des vaccins monovalents C 3, O 4, A 43, A 373, de préparation industrielle, six à sept groupes de quatre bœufs sont vaccinés par voie sous-cutanée;

la mesure de l'indice de protection K est faite, sur chaque groupe, dans des délais variables après la vaccination, les plus longs étant de 21 jours.

Les résultats de l'expérience sont rassemblés dans le tableau I.

TABLEAU I.

Variations de l'indice de protection K *dans les* 21 *jours qui suivent la vaccination.*



En abscisses : jours après vaccination.
En ordonnées : valeurs de K.

Notons que, d'après les normes de standardisation que nous utilisons [1], sur les quatre vaccins expérimentés, trois sont considérés au contrôle, comme utilisables, sous les rubriques « autorisés » ou « efficaces ». Il s'agit de C 3, O 4 et A 43, puisque leurs valeurs de K sont respectivement $10^{4,1}$, $10^{3,2}$ et $10^{2,5}$, donc supérieures à $10^{1,2}$. Le quatrième, A 373, est considéré comme « acceptable », c'est-à-dire à la limite inférieure d'efficacité, puisque sa valeur de K est $10^{0,7}$, donc comprise entre $10^{0,6}$ et $10^{1,2}$.

Or, le tableau I montre que le moment où la valeur de K de chacun d'eux se situe dans la zone $10^{0,6} \leqq K < 10^{1,2}$, qui correspond à ce que nous considérons comme le « début d'apparition de l'immunité », est variable et d'autant plus précoce que le vaccin est meilleur.

Ce moment se situe, en effet, au 7e ou 8e jour pour C 3, au 8e ou 9e jour pour O 4, au 10e ou 11e jour pour A 43 et probablement au 19e ou 20e jour pour A 373.

Si l'on tient compte du fait que parmi les vaccins habituellement contrôlés, que nous reconnaissons comme « autorisés » ou « efficaces », ceux qui donnent des valeurs de K voisines de 10^4, sont exceptionnels; que la plupart des autres en donnent, qui sont de l'ordre de 10^2 à 10^3, cette expérience semble montrer que, dans la pratique courante de la

vaccination, l'immunité n'apparaît, chez le Bœuf, qu'entre le 8e et le 11e jour. Avec les vaccins « acceptables », elle n'apparaît que vers la fin de la troisième semaine.

Conclusion. — L'immunité antiaphteuse, chez le Bœuf, apparaît, après la vaccination, à des moments très variables et se montre d'autant plus précoce que le vaccin est plus efficace.

Exceptionnellement, avec les meilleurs vaccins, elle n'apparaît guère avant le 7e ou 8e jour.

Dans la plupart des cas elle ne le fait qu'entre le 8e et le 11e jour.

Avec les vaccins les moins bons, quoique encore utilisables, elle peut ne le faire que vers le 19e ou 20e jour.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) F. Lucam et M. Fédida, *Bull. Off. Internat. Épizoot.*, 53, 1960, p. 743.

A 15 h. 30 m. l'Académie se forme en Comité secret.

COMITÉ SECRET.

L'Académie des Sciences, en sa séance du 12 septembre 1960, a adopté le vœu suivant relatif à la conservation du massif forestier de Fontainebleau, qu'une délégation composée de MM. **Roger Heim**, **Jacques Tréfouël**, **Philibert Guinier**, et **Maurice Fontaine**, conduite par M. **Albert Buisson**, Chancelier de l'Institut, présente aujourd'hui à M. le Premier Ministre :

« L'Académie des Sciences,

« considérant :

« que le massif forestier de Fontainebleau constitue un vaste ensemble naturel qui, en raison des particularités de son climat et de son sol, a constitué à travers les âges un territoire de refuge pour les espèces végétales et animales dont certaines ont disparu ailleurs;

« que de ce fait le massif forestier de Fontainebleau présente au point de vue scientifique une valeur exceptionnelle et qu'il doit être à tout prix intégralement conservé;

« que, de par sa situation à proximité de Paris, ce massif doit être l'un des éléments des plus précieux de l'ensemble des espaces verts dont la conservation ou la création est indispensable à la santé des populations de la région parisienne;

« que les forages pétroliers et les travaux annexes de routes et de poses de canalisations entraînent des perturbations irrémédiables du milieu forestier;

« que les concessions demandées entraîneraient pratiquement la destruction de la forêt sur toute l'emprise de ces concessions;

« que la nécessité primordiale de la sauvegarde des richesses scientifiques et des sites naturels doit conduire les pouvoirs publics à ériger en Parc national le massif forestier de Fontainebleau;

« émet un avis entièrement défavorable aux pétitions formulées concernant la recherche et l'exploitation du pétrole;

« propose le classement immédiat en Parc national de tout le massif forestier de Fontainebleau, conformément à la loi n° 60-708 du 22 juillet 1960. »

La séance est levée à 16 h.

L. B.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

Ouvrages reçus pendant les séances de septembre 1960.

The origin of Lavoisier's work on combustion, par Henri Guerlac, in *Archives internationales d'Histoire des sciences*, nº 47, avril-juin 1959; 1 fasc. 24 cm.

Nieuwe verhandelingen van het bataafsch genootschap der proefondervindelijke wijsbegeerte te Rotterdam. *Het ontstaan van plooiingsgebergten, middelgebergten en grootslenken; Het ontstaan van continenten en oceanen*, par Felix Andries Vening-Meinesz. Rotterdam, Mitgegeven door het Bataafsch genootschap, 1960; 1 fasc. 29 cm.

Theory of Vorticity-Quantum in turbulent flow, Part 1 et 2, par Takashi Murayama, in *Memoirs of the Defense Academy*, vol. I, nº 4, March 1959. Yokosuka (Japan); 2 fasc. 26,5 cm.

Inter-American nuclear energy commission and Argentine national atomic energy commission. *2nd Inter-American Symposium on the peaceful application of nuclear energy, Buenos Aires* 1959. *Radioisotopes and radiation in the life sciences.* Washington, Pan American Union, 1960; 1 vol. 27,5 cm.

Nations Unies. Conseil économique et social. *Étude sur les tendances principales de la recherche dans le domaine des sciences exactes et naturelles, la diffusion des connaissances scientifiques et leur application à des fins pacifiques*, 1960; 1 fasc. 27,5 cm (multicopié).

Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas, by William Randolph Taylor. Ann Arbor, The University of Michigan press, 1960; 1 vol. 24 cm.

Elektronenbeugung. Theorie, Praxis und industrielle Anwendungen, von Ernst Bauer. Munchen, Verlag Moderne Industrie, 1958; 1 vol. 21,5 cm.

Histochimie et cytochimie animales. Principes et méthodes, par Lucien Lison. Volume I. Paris, Gauthier-Villars, 1960; 1 vol. 22 cm.

Que sais-je ? Le point des connaissances actuelles, nº 874. *La Chimie électronique et ses applications industrielles*, par Andrée Goudot. Paris, Presses universitaires de France, 1960; 1 vol. 18 cm (présenté par M. Louis de Broglie).

Mémorial des Sciences physiques. Fasc. LXVI. *Similitude physique. Exemples d'applications à la Mécanique des fluides*, par André Martinot-Lagarde. Paris, Gauthier-Villars, 1960; 1 vol. 24 cm.

Collection de logique mathématique. Série A. XVI. *Introduction à la logique*, par Alfred Tarski. Traduit de l'anglais par Jacques Tremblay S. I. Paris, Gauthier-Villars et Louvain, E. Nauwelaerts, 1960; 1 vol. 24 cm.

Exercices d'analyse, par Gaston Julia, rédigés par Georges Bourion. Tome IV : *Équations aux dérivées partielles du premier ordre.* Paris, Gauthier-Villars, 1960 (nouveau tirage); 1 vol. 24 cm.

Geological survey of Canada. *Catalogue of type invertebrate fossils of the geological survey of Canada*, by THOMAS E. BOLTON. Volume I. Ottawa, Department of mines and technical surveys, 1960; 1 vol. 25,5 cm.

Biogeografia delle Isole Pelagie. Climatologia, par EDOARDO ZAVATTARI E COLL. Estratto dai *Rendiconti dell' Accademia nazionale dei XL*. Serie IV. Vol. XI (83e dalla fondazione). Roma, 1960; 1 vol. 31 cm.

The U. S. Government and the future of international medical research. *Hearings before the subcommittee on reorganization and international organizations of the Committee on Government operations United States senate*. Eighty-sixth Congress. First session. *International health Study*. July 9 and 16, 1959. Part I (Includes transcript of conferences in Europe, November-December 1958). Washington, Government printing office, 1960; 1 vol. 23 cm.

Hearing before the subcommittee on research and development of the joint committee on atomic energy congress of the United States. Eighty-sixth congress. *Second session on national food irradiation research program*. March 31, 1960. Part 2. — *Hearing before the subcommittee on legislation of the joint committee. Second session on review of proposed power demonstration project*. June 10, 1960. — *Hearing before the subcommittee on communities of the joint committee. Second session on atomic energy communities*. June 13, 1960. Washington, Government printing office, 1960; 1 vol. 22,5 cm et 2 fasc. 23 cm.

Ministère des travaux publics et des transports. Publications techniques de l'Institut géographique national. *L'examen stéréoscopique des photographies aériennes* (*théorie et pratique*), LOUIS HURAULT. Tomes I et II. Annexe I. *Planches et Anaglyphes*. Annexe II. *Collection de photographies*. Paris, Institut géographique national, 1960; 2 vol. 26,5 cm; une boîte de 85 planches et 13 anaglyphes 27 cm; une boîte de 108 photographies de 18 à 23 cm (présenté par M. Pierre Tardi).

Précis de pédologie, par PHILIPPE DUCHAUFOUR. Paris, Masson, 1960; 1 vol. 25 cm (présenté par M. Philibert Guinier).

Service d'information géologique du Bureau de recherches géologiques et minières. *Codification des fichiers bibliographiques* et *Périodiques géologiques de langue française*. Paris, 1960; 2 fasc. 27 cm.

Premier ministre. Commissariat à l'énergie atomique. *Études de la diffusion inélastique de particules α à moyenne énergie*, par MONIQUE CRUT. Thèse, Paris. Rapport C. E. A. no 1530. Gif-sur-Yvette, Centre d'études nucléaires de Saclay, 1960; 1 fasc. 27 cm.

Les diplotaxis du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie, par ROBERT NÈGRE, in *Mémoires de la Société des sciences naturelles et physiques du Maroc. Botanique*, nouvelle série, no 1. Rabat, 1960; 1 vol. 25 cm.

Darwin's notebooks on transmutation of species. Part III. Edited With an introduction and notes by Sir GAVIN DE BEER, in *Bulletin of the British Museum* (*Natural history*). *Historical*. Vol. 2, no 4. London, 1960; 1 fasc. 24,5 cm.

Travail du laboratoire de craniologie comparée de la Faculté libre de Médecine de Lille. *L'hominisation du crâne étudiée par la méthode vestibulaire*, par ANTOINE DELATTRE et RAPHAËL FENART. Paris, Éditions du Centre national de la recherche scientifique, 1960; 1 vol. 24 cm.

(*A suivre*.)

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 17 OCTOBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. **Fernand Baldet** prie l'Académie de bien vouloir le compter au nombre des candidats à la place vacante, dans la Section d'Astronomie, par la mort de M. *Georges Darmois*.

L'Ambassade du Pakistan invite l'Académie, de la part du Pakistan Council of scientific and industrial research, à se faire représenter au quatrième **Congress of the Pan Indian Ocean Science Association**, qui aura lieu à Karachi, du 16 au 24 novembre 1960.

Les Ouvrages suivants sont adressés en hommage à l'Académie :

par M. **Léon Moret**, la cinquième édition complétée d'un *Addendum* dont il est l'auteur, de l'Ouvrage de **Maurice Gignoux** intitulé : *Géologie stratigraphique*;

par Sir **Gavin de Beer**, la quatrième partie de ses *Darwin's notebooks on transmutation of species*.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Dix années d'hygrophotographie*, par M. Joseph Sivadjian. (Cet Ouvrage présente un exposé de recherches dont la plupart ont fait l'objet de Notes dans les *Comptes rendus*.)

2° Accademia nazionale dei XL. Edoardo Zavattari e Coll. *Biogeografia delle Isole Pelagie. Flora e vegetazione*.

3° Jean-Étienne Montucla. *Histoire des mathématiques*. Tomes 1, 2, 3. Nouveau tirage augmenté d'un *Avant-propos* par M. Ch. Naux (Reproduction photographique).

4° Édouard Lucas. *Récréations mathématiques*. Tomes 1, 2, 3, 4. Deuxième édition. Nouveau tirage (id.).

5° LUCIENNE FÉLIX. *Mathématiques modernes. Enseignement élémentaire.*

6° *Exercices numériques de mécanique en vue des applications industrielles*, par ANDRÉ TENOT. Tome I. Édition refondue.

7° International Union for conservation of nature and natural resources. *Tenth anniversary* 1948-1958. *From Fontainebleau to Athens and Delphi.*

8° *Annales de la Faculté des sciences de l'Université de Clermont*, nos 1, 2, 3, 4.

9° *Travaux du Muséum d'histoire naturelle « Gr. Antipa »* (Bucarest). Vol. I, II.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

ALGOLOGIE. — *Une Entéromorphe nouvelle de la région de Saint-Jean-de-Luz* (Enteromorpha Sancti Joannis *nov. sp.*). Note de M. **Pierre Dangeard**.

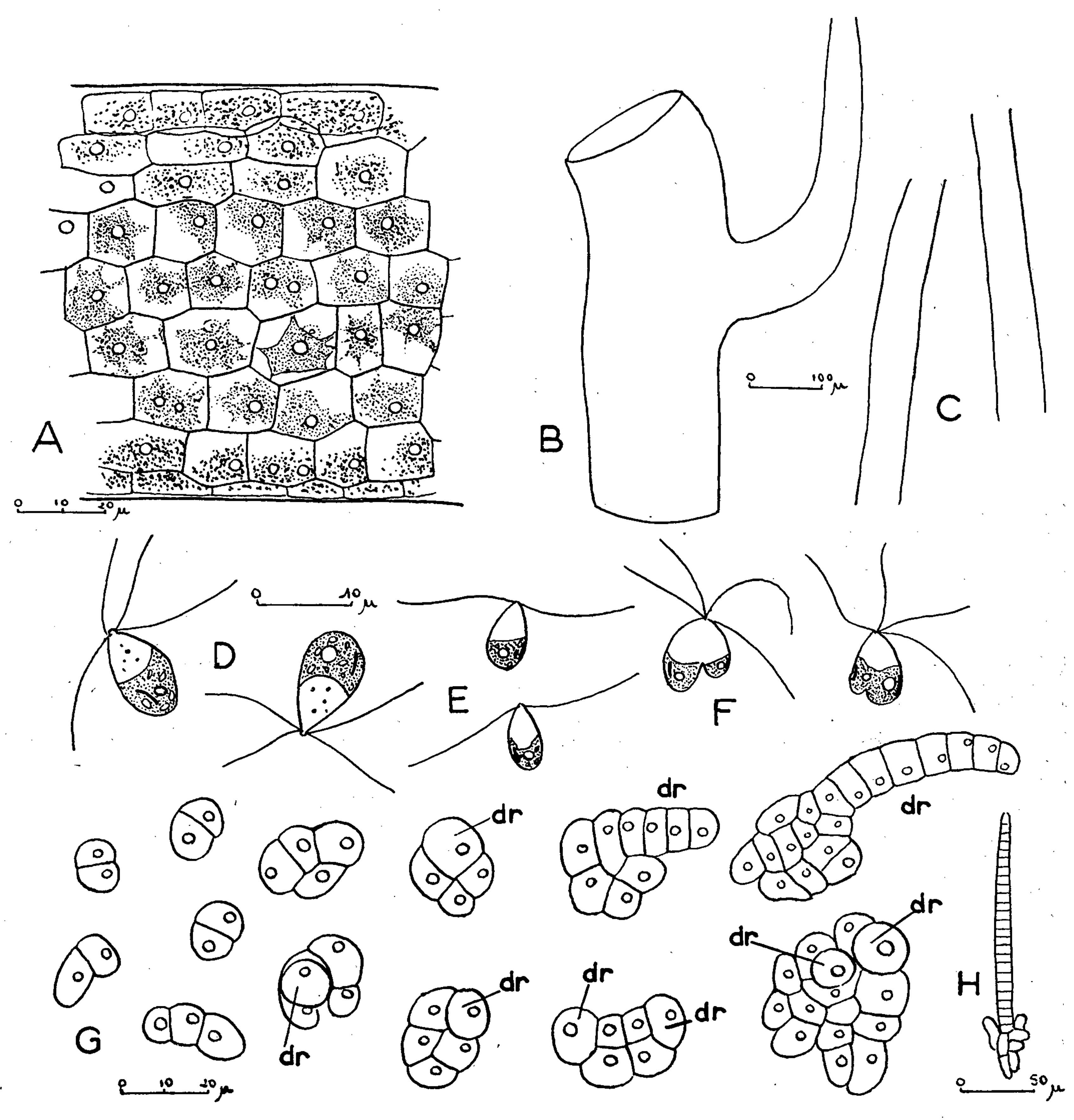
Il est signalé l'existence en milieu saumâtre, à Saint-Jean-de-Luz, d'une Entéromorphe décrite comme espèce nouvelle : *E. Sancti Joannis*, se distinguant principalement par ses filaments très fins, cylindriques, non ramifiés, sa reproduction et les caractères du développement.

Les Entéromorphes vivant dans les eaux saumâtres, à l'embouchure des rivières marines ou dans les marécages en communication avec la mer, sont assez nombreuses et variées : les unes habitent à un niveau élevé, au voisinage des Phanérogames halophiles ou fixées sur elles, comme *Ent.* (*Blidingia*) *marginata* (Agardh) P. D., *Ent. torta* Reinb., *Ent. Ralfsii* Harvey, certaines formes d'*Ent. intestinalis* L., d'autres se rencontrent sur la vase ou le limon, fixées à de petits cailloux ou échouées : *E. clathrata* (Roth) J. Ag., *E. crinita* (Roth) J. Ag. D'autres enfin affectionnent les ruisselets et les courants d'eau douce ou d'eau plus ou moins dessalée à marée basse : *E. intestinalis* L., *E. Hendayensis* P. D. et H. P., *E. Ahlneriana* Bliding.

Parmi les espèces les plus souvent citées en milieu saumâtre se trouvent les *E. Ralfsii* Harvey et *E. torta* Reinbold. Ce sont des Entéromorphes constituées de filaments très fins, tortueux, dépourvus en général de ramification. Mélangées à elles se rencontrent fréquemment le *Percursaria percursa* (Ag.) Rosenv. et des *Rhizoclonium*. Or, en amont de Saint-Jean-de-Luz, dans les marais formés par la Nivelle, nous avons eu l'occasion de récolter à plusieurs reprises une Entéromorphe qui présente certains caractères communs avec les *E. Ralfsii* et les *E. torta*, mais qui s'en distingue en particulier par la grosseur de ses filaments. Nous avons étudié sa reproduction et nous l'avons cultivée au laboratoire. Finalement, nous pensons qu'il s'agit d'une espèce nouvelle et nous la décrirons sous le nom d'*E. Sancti Joannis*.

L'algue en question forme au printemps de larges matelas d'un beau vert sur les berges sableuses ou vaseuses des marigots qui découpent le marais salé, à la base des Phanérogames, donc à un niveau élevé. Constitués par un enchevêtrement de filaments tortueux ces amas à toucher muqueux semblent à première vue échoués mais, en les récoltant, on s'aperçoit qu'ils sont probablement développés sur place, adhérant faiblement au substrat ferme et légèrement graveleux.

Les filaments enchevêtrés de cette Entéromorphe sont simples, souvent très longs et très fins : c'est ainsi qu'on peut isoler des fils simples ayant 20 ou 25 cm de long et capillaires, dont le diamètre est assez uniforme. D'autre part si l'on considère un ensemble de filaments on voit que le diamètre



A. Segment d'un filament de l'*E. Sancti Joannis* nov. sp. montrant les cellules à chromatophore étoilé muni d'un, ou parfois de deux pyrénoïdes; B. Segment de fronde montrant le départ exceptionnel d'une branche; C. Segments de frondes d'un type moyen; D. Zoospores; E. Gamètes; F. Copulation des gamètes; G. Divers stades du développement, formation du disque et de la fronde dressée (dr.); H. Plantule plus âgée.

de ceux-ci peut varier considérablement entre 80 à 500 μ environ (*fig.* B, C).

Les filaments sont cylindriques, tubuleux, tortueux, composés de cellules polygonales régulièrement disposées, ayant 10 à 15 μ de largeur et en général isodiamétriques ou un peu allongées dans le sens longitudinal (*fig.* A). Un certain alignement peut se manifester assez souvent

et sur les petits filaments en particulier on observe des files cellulaires nettes et un peu hélicoïdales assez souvent.

Le chromatophore est du type léger, mince, finement perforé, de forme irrégulière, un peu étoilé, n'occupant le plus souvent qu'une partie de la face proximale des cellules. Il peut être lisse ou garni de grains d'amidon. En règle générale il n'existe qu'un pyrénoïde, cas de beaucoup le plus fréquent; il n'est pas rare toutefois d'observer deux pyrénoïdes et ce nombre peut même se trouver plus fréquemment sur certains filaments, tandis que le nombre 3 est de toutes façons rare ou très rare.

Pendant longtemps nous avons considéré que, chez cette Entéromorphe, l'absence de toute ramification était absolue. Cependant nous avons eu l'occasion d'examiner, dans certains échantillons, quelques très gros filaments qui étaient assez rares parmi d'autres de taille petite ou moyenne. Ces gros filaments auraient pu appartenir à une autre espèce, mais les caractères cellulaires étaient semblables à ceux des petits filaments. D'autre part, nous avons pu observer des branches très rares et d'un type particulier, le point de départ du rameau présentant un élargissement caractéristique (*fig.* B). Or ces branches s'allongent en filaments très fins ayant exactement la structure des filaments typiques d'*E. Sancti Joannis.* Il se confirme donc que notre espèce peut avoir des filaments relativement gros vers la base (jusqu'à 5 ou 600 μ de diamètre) et qu'elle peut se ramifier, très faiblement d'ailleurs, dans cette région. La culture au laboratoire, comme nous le verrons, a confirmé ce dernier point.

La reproduction a été observée tout d'abord sur des algues coupées en menus fragments et incitées, de cette manière, suivant une méthode qui nous est propre, à former des corps reproducteurs; ceux-ci sont des zoospores à quatre cils et des gamètes à deux cils. La reproduction a été observée également sur des algues peu après leur récolte, qui donnaient dans les vases de culture une bordure verte à phototactisme positif où se manifestaient à la fois des gamètes et des zoospores. Ces dernières ont environ 8-10 μ de long sur 4-5 μ de large avec des flagelles un peu plus longs que le corps, un chromatophore avec un pyrénoïde et des grains d'amidon, un stigma (*fig.* D). Les gamètes ont 7-8 μ de long sur 3-4 μ de large; ils ont un chromatophore avec un pyrénoïde, un stigma petit en bâtonnet et des cils de 10 à 12 μ de long (*fig.* E).

La copulation donne des images correspondant à une nette hétérogamie (*fig.* F) non seulement en raison de la taille différente des gamètes appariés, mais encore par suite de la présence de pyrénoïdes et de stigmas inégaux chez les deux partenaires.

Le développement a été obtenu aux dépens d'un ensemble de zoïdes correspondant à des zoospores ou à des gamètes. On constate, dès les premiers jours, que certaines cellules fixées grossissent, tandis que d'autres restent petites et sont destinées sans doute à péricliter; ces dernières

représentent probablement des gamètes et nous pensons que le développement observé par nous est principalement celui des zoospores.

Or, l'*Ent. Sancti Joannis* montre une certaine variété dans les plantules obtenues après quelques jours de culture (*fig.* G). Il apparaît nettement toutefois que le développement de cette espèce est d'un type original qui rappelle celui de l'*E. tubulosa*, mais qui ne lui est pas équivalent. C'est ainsi que les premiers cloisonnements font apparaître une formation basale pluricellulaire, plus semblable parfois à un glomérule qu'à un disque proprement dit (*fig.* G). Il se forme donc un petit groupe de cellules d'où émerge plus ou moins tôt, un, ou parfois plusieurs filaments dressés.

Les cultures ont prospéré, donnant naissance à des filaments tortueux, simples, sans ramules, d'un diamètre à peu près constant, formant finalement une touffe crépue volumineuse qui reste fixée à la lame porte-objet.

Les filaments examinés vers leur point de fixation montrent quelques branches filiformes alors que les rameaux font défaut partout ailleurs, ce qui correspond à ce que nous avons observé sur les algues vivant dans leurs stations naturelles. Au bout de deux mois la culture se composait de filaments entremêlés d'environ 70 μ de diamètre, ayant 12 à 16 files cellulaires en moyenne. La reproduction a eu lieu à ce stade et les filaments ont émis des zoïdes formés dans des segments intercalaires du thalle assurant le développement d'une nouvelle génération.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Estimation dans les processus de Markov permanents.* Note de M. **Bui Trong Lieu**, présentée par M. Maurice Fréchet.

Reprenons les notations de [1]. Soit un processus de Markov $\{ P_t(\theta), t \in R_+ \}$ permanent homogène où $\mathfrak{X} = \{ 1, 2, \ldots, r \}$. Appelons (C) la condition de continuité suivante :

$$\lim_{t \to 0} p_{ij}(t;\, \theta) = \delta_{ij}, \qquad \forall\, i, j \in \mathfrak{X}, \qquad \forall\, \theta \in I.$$

Nous supposerons dans ce qui suit, l'hypothèse $(\mathcal{L}_1)$ suivante :

1° $\exists$ un $\theta_1 \in I$ pour lequel $\lim_{t \to 0} p_{ij}(t;\, \theta) = \delta_{ij}$, $\forall\, i, j \in \mathfrak{X}$;

2° $(\partial/\partial\theta)\, p_{ij}(t;\, \theta)$ existe et est continue en θ, $\forall\, t \in T$ et $\forall\, i, j \in \mathfrak{X}$;

3° $\lim_{t \to 0} (1/t)\, (\partial/\partial\theta)\, p_{ij}(t;\, \theta)$ existe uniformément en θ, $\forall\, i, j \in \mathfrak{X}$.

Nous ajouterons plus tard l'hypothèse $(\mathcal{L}_2)$ que

$$\lim_{t \to \infty} p_{ij}(t;\, \theta) = \Pi_j(\theta), \qquad \forall\, \theta \in I \quad \text{et} \quad \forall\, i \in \mathfrak{X}.$$

Proposition 1. — *Sous l'hypothèse* $(\mathcal{L}_1)$, *on a*

$$\text{(i)} \quad \lim_{t \to 0} \frac{\delta_{ij} - p_{ij}(t;\, \theta)}{t} = \begin{cases} q_i(\theta) < \infty & \textit{si } j = i, \\ -q_{ij}(\theta) \ \textit{avec} \sum_j q_{ij}(\theta) = q_i(\theta) & \textit{si } j \neq i, \end{cases} \quad \textit{uniformément en } \theta.$$

[*Nous posons par convention* $q_{ii}(\theta) = 0$].

$$\text{(ii)} \qquad \frac{d}{d\theta} q_{ij}(\theta) = \lim_{t \to 0} \frac{1}{t} \frac{\partial}{\partial\theta} p_{ij}(t;\, \theta), \qquad \forall\, i, j \in \mathfrak{X}, \quad \textit{uniformément en } \theta.$$

Considérons maintenant $\{ X_t, t \in R_+ \}$ la fonction aléatoire strictement stationnaire du processus, ayant $\Pi(\theta)$ pour probabilité absolue. Supposons qu'on observe l'évolution dans l'intervalle [o, T]. Appelons $N^i_j(T)$ le nombre de fois qu'on passe de i à j, $T_j(T)$ la durée totale de séjour dans j. Si $\Pi(\theta)$ et $Q(\theta) = P'_0(\theta)$ sont données, alors

Proposition 2. — *Sous les conditions* $(\mathcal{L}_1)$ *et* $(\mathcal{L}_2)$, $\forall\, \theta \in I$, *quand* $T \to \infty$,

$$\frac{N^i_j(T)}{T} - \Pi_i(\theta)\, q_{ij}(\theta) \to 0 \qquad \text{p. s. et en m. q.,}$$

$$\frac{T_j(T)}{T} - \Pi_j(\theta) \to 0 \qquad \text{p. s. et en m. q.,} \qquad \forall\, i, j \in \mathfrak{X}.$$

Proposition 3. — *Sous les hypothèses* $(\mathcal{L}_1)$ *et* $(\mathcal{L}_2)$, *l'équation de vraisemblance s'écrit*

$$(1) \qquad \frac{1}{T}\frac{d}{d\theta}\log \Pi_{x_0}(\theta) - \frac{1}{T}\sum_{i}\frac{d}{d\theta}q_i(\theta)\,T_i(T) + \frac{1}{T}\sum_{i,j}\frac{d}{d\theta}\log q_{ij}(\theta)\,N_j^i(T) = 0.$$

Mais en général, toutes les conditions de $(\mathcal{L}_1)$ *ne sont pas vérifiées. Par extension, nous définirons encore* (1) *comme équation de vraisemblance « au sens large ».*

Proposition 4. — *Sous* (C) *et* $(\mathcal{L}_2)$, *si* $(d^\nu/d\theta^\nu)\,\Pi_i(\theta)$, $(d^\nu/d\theta^\nu)\,q_i(\theta)$ *et* $(d^\nu/d\theta^\nu)\,q_{ij}(\theta)$ $(\nu = 1, 2, 3)$ *existent et sont bornées sur* I, $\forall\, i, j \in \mathfrak{X}$, *alors*

(i) *L'équation* (1) *possède une racine simple quand* $T \geqq T_0$, *où* T_0 *est une variable aléatoire p. s. finie; cette racine, notée* $\mathcal{C}_T$, *tend p. s. vers* θ_0, *valeur vraie de* θ, *quand* $T \to \infty$.

(ii) *Ajoutons l'hypothèse* $(\mathcal{L}_1)$. *Quand* $T \to \infty$, $\sqrt{T}\,(\mathcal{C}_T - \theta)$ *suit asymptotiquement une loi de Laplace-Gauss de moyenne* 0 *et d'écart-type*

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\displaystyle\sum_{i,j}\frac{\Pi_i(\theta)}{q_{ij}(\theta)}\left(\frac{d}{d\theta}q_{ij}(\theta)\right)^2}}.$$

Applications. — 1° *Estimation d'un élément quelconque* q_{ij} *de la matrice* Q, *étant donnés* $\{\,N_l^k(T),\ T_k(T)\,\}$:

Proposition 5. — *Supposons que* $0 < q_{ij} < \infty$. *L'estimateur* $\hat{q}_{ij}$ *de* q_{ij} *sera*

(i) *exhaustif :* $\hat{q}_{ij} = N_j^i(T)/T_i(T)$;

(ii) *convergent :* $\hat{q}_{ij} \to q_{ij}$ *p. s. quand* $T \to \infty$;

(iii) *asymptotiquement efficace :* $\sqrt{T}\,(\hat{q}_{ij} - q_{ij})$ *suit asymptotiquement une loi de Laplace-Gauss de moyenne* 0 *et d'écart-type* $\sqrt{q_{ij}/\Pi_i}$.

Etant donnée la forme particulière de l'estimateur de q_{ij}, *nous en déduisons une estimation de la matrice* Q *elle-même, avec*

$$\hat{q}_i = \sum_{k \neq i}\frac{N_k^i(T)}{T_i(T)}.$$

2° *Estimation de la matrice* Π *des probabilités absolues compatible avec celle de* Q *donnée ci-dessus.*

Proposition 6. — $\exists$ *un estimateur* $\hat{P}_i$ *pour chaque* P_i, *compatible avec les* $\hat{q}_{ij}$, $\forall\, i, j \in \mathfrak{X}$, *avec les propriétés suivantes :*

(i) $\hat{P}_i = T_i(T)/T$;

(ii) $\hat{P}_i$ *est sans biais :* $E\hat{P}_i = P_i$;

(iii) $\hat{P}_i$ *est convergent :* $\hat{P}_i \to P_i$ *p. s. et en m. q. quand* $T \to \infty$, $\forall\, i \in \mathfrak{X}$.

(1) Bui Trong Lieu, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1339.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Calcul relativiste de l'état fondamental du deutéron.* Note de M. **Claude Deutsch**, présentée par M. Louis de Broglie.

On généralise le calcul phénoménologique du deutéron établi dans une Note précédente. On considère les nucléons comme des sources ponctuelles, sans recul, du champ mésique. On obtient une théorie invariante par conjugaison de charge. On en déduit l'indépendance de charge des forces nucléaires. On dédouble le champ complexe en deux champs scalaires neutres. On voit alors que le potentiel de Yukawa n'a de sens physique que d'un point de vue relativiste. La constante d'interaction proton-neutron est donnée par $g^2/4\pi = e^2$.

On généralise le calcul non relativiste de l'état fondamental du deutéron (1). Les nucléons sont considérés comme les sources du champ de pions chargés. Le champ mésique s'écrit

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}}[\Phi_1(x) - i\Phi_2(x)],$$

Φ_1 et Φ_2 sont réels (2). Les équations du champ se déduisent de la densité de lagrangien

$$\mathcal{L} = -[\Phi_{,\nu}\Phi^{\star}_{,\nu} + m^2\Phi\Phi^{\star}]$$

elles deviennent

$$[\Box^2 - m^2]\Phi = 0,$$
$$[\Box^2 - m^2]\Phi^{\star} = 0,$$

car Φ_1 et Φ_2 obéissent séparément à l'équation de Klein-Gordon. L'échange de pions se faisant par quantas discrets, on a (2)

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{V}} \sum_{k_0=\omega_k} \frac{1}{\sqrt{2k_0}}[a(k)\,e^{ikx} + b^{\dagger}(k)\,e^{-ikx}],$$

$$\Phi^{\dagger}(x) = \frac{1}{\sqrt{V}} \sum_{k_0=\omega_k} \frac{1}{\sqrt{2k_0}}[a^{\dagger}(k)\,e^{-ikx} + b(k)\,e^{ikx}],$$

$a(k)$, $a^{\dagger}(k)$, $b(k)$, $b^{\dagger}(k)$ étant les opérateurs de création et d'absorption des deux sortes de pions.

$$\omega_k = [k^2 + m^2]^{\frac{1}{2}}, \qquad \hbar = c = 1.$$

L'apparition de pions par paires est une conséquence nécessaire du point de vue relativiste. La charge totale est

$$Q = e\sum_k [N^+(k) - N^-(k)] \qquad [N^{\pm}(k) = \text{nombre de pions de charge } \pm e].$$

Q est une constante du mouvement. Du point de vue relativiste (3) seules les densités de charge ont un sens physique pour les nucléons, et seules les densités d'énergie ont un sens physique pour les pions.

La charge totale Q ne peut représenter que la différence de charge des nucléons, la symétrie totale de la théorie par rapport aux π^- et aux π^+ est l'expression de l'indépendance de la charge des forces nucléaires. La densité d'énergie définie du champ mésique doit fournir l'énergie de liaison et le potentiel nucléaire.

La densité de charge n'ayant pas de sens physique précis pour les pions, le nombre de pions échangés n'a pas non plus de signification précise.

Étant donnée la symétrie totale entre les Π^- et les Π^+, on peut traiter l'énergie de liaison des deux nucléons comme due à un double courant de pions neutres. On considère la densité d'hamiltonien d'interaction relativiste

$$\mathcal{H}_I(x) = g_c \rho(x) \Phi(x),$$

g_c = constante d'interaction $= \sqrt{2}\, g$ d'après la décomposition du champ complexe;

$\rho(x) = \sum_n \delta(x - x_n)$ = densité ponctuelle des nucléons supposés infiniment lourds, l'hamiltonien d'interaction $H_I = \int \mathcal{H}_I(x, t)\, d^3x$ devient

$$H_I = \frac{g_c}{\sqrt{V}} \sum_k \sum_n \frac{1}{\sqrt{2\omega_k}} [a(k)\, e^{ikx} + a^\dagger(k)\, e^{-ikx}].$$

Seul $\Phi(x)$ est quantifié : ceci signifie que les pions sont émis et réabsorbés. On utilise la théorie des perturbations indépendante du temps, dont l'emploi est rigoureusement justifié pour un champ scalaire neutre ([4]).

L'énergie de liaison des deux nucléons est donnée en deuxième approximation par

$$\Delta E = \sum_k \frac{[\Phi_0, \mathcal{H}_I \Phi(k)]\,[\Phi(k), H_I \Phi_0]}{-\omega_k}.$$

Finalement en remplaçant les sommes par des intégrales, on a

$$\Delta E = \frac{-g_c^2}{V} \sum_k \frac{1}{2\omega^2 k} \sum_{n=1}^{2} \sum_{m=1}^{2} e^{ik(X_m - X_n)}.$$

On écarte les termes linéairement divergents de self-énergie ($n = m$), ce qui donne

$$\Delta E = \frac{-g_c^2}{(2\pi)^3} \int \frac{d^3k\, e^{ikx}}{m^2 + |k|^2} = \frac{-g_c^2\, e^{-mr}}{4\pi r},$$

$$g_c^2 = 2g^2, \qquad X = X_2 - X_1, \qquad r = |X|,$$

$$m = \frac{1}{\lambda\pi} = \frac{1}{1,4 \cdot 10^{-13}}\ \text{cm}^{-1};$$

$r = a_0$ = rayon électrique du nucléon : $(0,80 \pm 0,04) \cdot 10^{-13}$ cm.

En faisant $\Delta E = - 2{,}227$ MeV pour le deutéron on a $g^2/4\pi = e^2 \simeq 0{,}08$, en comparant (¹) avec le calcul non relativiste.

Le potentiel nucléaire est fourni par le potentiel de Yukawa, mais dans une représentation relativiste seulement. La liaison nucléaire ne peut être décrite que d'un point de vue relativiste ; elle ne possède pas d'analogue non relativiste. Le calcul statique du deutéron est simplement dû au fait qu'on peut déterminer la liaison proton-neutron à partir de la structure électromagnétique des nucléons ; c'est un cas particulier, non une première approximation.

(¹) G. Deutsch, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1459.
(²) F. Mandl, *Introduction to Quantum field theory*, Interscience, 1960, p. 39.
(³) W. Pauli, *Phys. Rev.*, 58, 1940, p. 716.
(⁴) G. Wentzel, *Quantum theory of Fields*, Interscience, 1949, p. 49.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Classification algébrique des particules élémentaires et des interactions.* Note (*) de M. **Jean-Marie Souriau**, présentée par M. Joseph Pérès.

A partir d'un « endo-espace » à trois dimensions (espace des mésons neutres), on construit par trois extensions spinorielles successives des espaces permettant de décrire toutes les particules élémentaires (en dehors de leurs propriétés spatio-temporelles). A ces trois extensions sont liés trois types d'interactions et trois lois de conservation; une nouvelle règle de sélection est vérifiée par l'expérience.

1. *Notations.* — Soit $\mathfrak{X}$ un espace euclidien; X un élément de $\mathfrak{X}$. Nous noterons $X^\star$ le covecteur hermitien conjugué de X (on a donc $X^\star . X = |X|^2$); ${}_{\mathrm{R}}\dim(\mathfrak{X})$ la dimension réelle de $\mathfrak{X}$ [si $\mathfrak{X}$ est muni d'une structure complexe, c'est le double de la dimension complexe ${}_{\mathrm{C}}\dim(\mathfrak{X})$]; $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$ l'espace euclidien complexe des *spineurs* de $\mathfrak{X}$; $\gamma(X)$ l'opérateur sur $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$ associé canoniquement à X au moyen des « matrices de Dirac »; on sait qu'il vérifie identiquement $[\gamma(X)]^2 = X^\star . X$, $[\gamma(X)]^\star = \gamma(X)$. On sait aussi qu'on construit une représentation (non univoque) du groupe orthogonal de $\mathfrak{X}$ dans le groupe unitaire de $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$ en postulant l'invariance de la forme réelle $l = S^\star . \gamma(X) . S$ [S désigne un élément de $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$]. Cette forme est aussi invariante dans la substitution « de jauge » $X \to X$, $S \to S e^{i\alpha}$.

2. *Construction et interprétation d'espaces particulaires.* — Soit $\mathcal{N}$ un espace euclidien réel de dimension 3 (« endo-espace »). Construisons les espaces euclidiens complexes

$$\mathcal{E} = \mathcal{S}(\mathcal{N}), \qquad \mathcal{L} = \mathcal{S}(\mathcal{E}), \qquad \mathcal{B} = \mathcal{S}(\mathcal{M}),$$

en désignant par $\mathcal{M}$ la somme directe $\mathcal{N} + \mathcal{E}$.

On sait que

$${}_{\mathrm{C}}\dim(\mathcal{E}) = 2, \quad {}_{\mathrm{R}}\dim(\mathcal{E}) = 4, \quad {}_{\mathrm{C}}\dim(\mathcal{L}) = 4, \quad {}_{\mathrm{R}}\dim(\mathcal{M}) = 7, \quad {}_{\mathrm{C}}\dim(\mathcal{B}) = 8;$$

que l'espace $\mathcal{L}$ se décompose canoniquement en deux sous-espaces de demi-spineurs $\mathcal{L}'$ et $\mathcal{L}''$, ayant chacun la C-dimension 2; que la transformation de jauge infinitésimale de $\mathcal{E}$, définie par

$$\delta_{\mathcal{E}} N = 0, \qquad \delta_{\mathcal{E}} E = iE \qquad (N \in \mathcal{N},\ E \in \mathcal{E}),$$

se prolonge canoniquement à tous les espaces considérés; le calcul montre qu'elle a les valeurs propres suivantes : 0, 0, 0 sur $\mathcal{N}$; $+i$, $+i$ sur $\mathcal{E}$; 0, 0 sur $\mathcal{L}'$; $+i$, $-i$ sur $\mathcal{L}''$; $+i$, $+i$, $-i$, $-i$, 0, 0, 0, 0 sur $\mathcal{B}$.

Ceci suggère, entre ces espaces et les familles de particules élémentaires, la correspondance suivante :

$\mathcal{N}$: *mésons neutres* (π^0, K_1^0, K_2^0);

$\mathcal{E}$: *mésons positifs* (π^+, K^+);

$\mathcal{L}$: *leptons;* soit

$\mathcal{L}'$: *deux neutrinos* ν_1 et ν_2;

$\mathcal{L}''$: μ^+ et e^-;

$\mathcal{B}$: *baryons* (p, Σ^+, Σ^-, Ξ^-, n, Λ^0, Σ^0, Ξ^0)

(chaque espace de spineurs étant d'autre part associé aux antiparticules correspondantes); l'opérateur *charge électrique* est évidemment $(e/i)\,\delta_{\mathcal{E}}$; on associe de même aux transformations de jauge infinitésimales de $\mathcal{L}$ et de $\mathcal{B}$ les opérateurs *charge leptonique* et *charge baryonique*; enfin on prendra les trois formes invariantes associées aux trois structures de spineurs

$$l_1 = \mathrm{E}^{\star}.\gamma(\mathrm{N}).\mathrm{E}, \qquad l_2 = \mathrm{L}^{\star}.\gamma(\mathrm{E}).\mathrm{L}, \qquad l_3 = \mathrm{B}^{\star}.\gamma(\mathrm{M}).\mathrm{B}$$

comme lagrangiens respectifs pour les interactions *faibles non leptoniques, faibles leptoniques* et *fortes.*

3. *Application aux réactions entre particules.* — L'expression des lagrangiens au moyen des fonctions d'onde des particules n'est pas entièrement déterminée, en raison notamment de la structure spatiotemporelle de celles-ci.

L'expression de l_3, précisée par l'expérience, se trouve dans une Note précédente ([1]), ainsi que le tableau des réactions fortes correspondantes.

Pour l_2, on peut construire au moyen des matrices de Dirac le tableau des réactions (lepton + antilepton $\Rightarrow$ méson chargé) sans autre ambiguité que la désignation respective des deux neutrinos :

		$\bar{\nu}_1$	$\bar{\nu}_2$	μ^-	e^+
$\mathcal{L}'$	ν_1 . . .	o	o	π^-	K^+
	ν_2 . . .	o	o	$-\mathrm{K}^-$	π^+
$\mathcal{L}''$	π^+. . .	π^+	$-\mathrm{K}^+$	o	o
	e^-. . .	K^-	π^-	o	o

L'expression de l_1 dépend d'un certain nombre de paramètres ajustables; l'invariance CP d'une part, le mode de désintégration des mésons K d'autre part, suggèrent de prendre

$$l_1 = \pm\,\pi^0[\mathrm{K}^+\pi^- + \mathrm{K}^-\pi^+] \pm \mathrm{K}_1^0[\mathrm{K}^+\mathrm{K}^- - \pi^+\pi^-] \pm \mathrm{K}_2^0\left[\frac{\mathrm{K}^+\pi^- - \mathrm{K}^-\pi^+}{i}\right].$$

En désignant par les signes $\overset{1}{\rightarrow}$, $\overset{2}{\rightarrow}$, $\overset{3}{\rightarrow}$ les réactions associées à l_1, l_2, l_3 respectivement, on peut construire des diagrammes pour les réactions

entre particules; indiquons-en qui correspondent aux désintégrations faibles :

$$\mu^+ \xrightarrow{2} (\pi^+ + \nu_1) \xrightarrow{2} e^+ + \nu_2 + \nu_1; \qquad \pi^+ \xrightarrow{2} \mu^+ + \bar{\nu}_1; \qquad K^+ \xrightarrow{2} \mu^+ + \bar{\nu}_2;$$

$$K^+ \xrightarrow{1} \pi^0 + \pi^+; \qquad K^+ \xrightarrow{1} (\pi^0 + \pi^+) \xrightarrow{3} \pi^0 + \pi^0 + \pi^+; \qquad K^+ \xrightarrow{1} (\pi^0 + \pi^+) \xrightarrow{3} \pi^+ + \pi^- + \pi^+;$$

$$K_1^0 \xrightarrow{1} \pi^+ + \pi^-; \qquad K_1^0 \xrightarrow{1} (K^+ + K^-) \xrightarrow{3} \pi^0 + \pi^0; \qquad K_2^0 \xrightarrow{1} (K^+ + \pi^-) \xrightarrow{1} \pi^0 + \pi^+ + \pi^-;$$

$$K_2^0 \xrightarrow{1} (K^+ + \pi^-) \xrightarrow{2} \mu^+ + \bar{\nu}_2 + \pi^-; \qquad K_2^0 \xrightarrow{1} (K^+ + \pi^-) \xrightarrow{2} e^+ + \nu_1 + \pi^-;$$

$$n \xrightarrow{3} (p + \pi^-) \xrightarrow{2} p + e^- + \bar{\nu}_2;$$

$$\Lambda^0 \xrightarrow{3} (p + K^-) \xrightarrow{1} (p + \pi^- + \pi^0) \xrightarrow{3} \begin{cases} n + \pi^0 \\ p + \pi^- \end{cases}$$

$$\Sigma^+ \xrightarrow{3} (p + \bar{K}^0) \xrightarrow{1} (p + \pi^- + \pi^+) \xrightarrow{3} n + \pi^+;$$

$$\Sigma^+ \xrightarrow{3} (\Lambda^0 + \pi^+) \xrightarrow{1} (\Lambda^0 + K^+ + \pi^0) \xrightarrow{3} p + \pi^0;$$

$$\Sigma^- \xrightarrow{3} (n + K^-) \xrightarrow{1} (n + \pi^0 + \pi^-) \xrightarrow{3} n + \pi^-;$$

$$\Xi^- \xrightarrow{3} (\Sigma^0 + K^-) \xrightarrow{1} (\Sigma^0 + \pi^0 + \pi^-) \xrightarrow{3} \Lambda^0 + \pi^-;$$

$$\Xi^0 \xrightarrow{3} (\Sigma^+ + K^-) \xrightarrow{1} (\Sigma^+ + \pi^- + \pi^0) \xrightarrow{3} \Lambda^0 + \pi^0.$$

4. *Remarques.* — La théorie conduit à considérer μ^+ et e^- comme leptons, μ^- et e^+ comme antileptons; il y a cependant conservation de la charge leptonique, grâce à l'existence de deux neutrinos et de deux antineutrinos (*voir* ci-dessus la désintégration du muon); on exclut ainsi des réactions non observées, telles que les suivantes : $\mu^\pm \to e^\pm$; $\pi^0 \to \mu^\pm + e^\mp$.

Bien que non explicités jusqu'à présent, le *photon* et les *interactions électromagnétiques* s'insèrent dans le schéma précédent; celles-ci s'obtiennent en remplaçant dans les termes « cinématiques » du lagrangien les dérivées d'espace-temps ∂_j par $\partial_j + eA_j\delta_8$, e étant la charge élémentaire, les A_j les composantes du photon. Dans ces conditions, toutes les particules et toutes les interactions connues sont décrites (à l'exception toutefois de la gravitation).

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2807.

(*Laboratoire de Relativité, Faculté des Sciences, Marseille.*)

ACOUSTIQUE. — *Sur la définition du facteur d'amortissement d'une impulsion sonore non périodique.* Note (*) de MM. **Constantin Sălceanu** et **Mircea Zăgănescu**, présentée par M. Jean Lecomte.

Rayleigh et Kirchhoff se sont occupés du problème de l'amortissement d'une onde sonore plane, périodique et harmonique, qui se propage dans un milieu quelconque. Ils ont donné pour le coefficient d'absorption, m, de la formule

$$I = I_0 e^{-mx}, \tag{1}$$

la valeur [1]

$$m = \frac{\omega^2}{2c^3}\left(\frac{4}{3}\nu + \frac{\varkappa - 1}{\varkappa}\nu'\right), \tag{2}$$

où ω représente la pulsation, c la vitesse du son, ν la viscosité cinématique ($\nu = \eta/\rho$, où η est la viscosité dynamique), $\varkappa = c_p/c_v$, $\nu' = k/\rho$, k étant le coefficient de conductibilité thermique et ρ la densité. Si l'on néglige le second terme de la formule (2), comme étant petit vis-à-vis du premier, on obtient

$$m = \frac{2\omega^2}{3c^2}\,\frac{\eta}{\rho}. \tag{3}$$

Il est évident que ce résultat n'est valable que dans le cas d'une excitation sonore périodique et harmonique.

Dans la présente Note nous nous proposons de définir le coefficient d'absorption dans le cas d'une excitation sonore non périodique.

En faisant appel à l'équation (1) on observe que la grandeur dI/dx a les dimensions d'une énergie par centimètre cube et par seconde et représente l'énergie dissipée sous forme de chaleur dans 1 cm³ et dans 1 s. Le coefficient d'absorption m peut donc être mis sous la forme

$$m = \frac{\text{Énergie dissipée sous forme de chaleur par centimètre cube et par seconde}}{\text{Energie qui traverse 1 cm}^2/\text{s}}. \tag{4}$$

La dimension de cette grandeur est le cm^{-1}. Notons par ε l'énergie dissipée sous forme de chaleur dans 1 cm³ et dans 1 s. Supposons que l'excitation sonore consiste en une seule impulsion sonore constante et durant T secondes. L'énergie, dissipée dans cet intervalle de temps, sera évidemment εT.

Pour calculer l'énergie qui traverse 1 cm², normal à la direction de propagation, en T secondes, nous observons qu'elle représente l'énergie, contenue dans un parallélépipède ayant comme base 1 cm² et cT comme longueur.

Soit E, l'énergie élastique accumulée par centimètre cube dans 1 s. En T secondes sera accumulée l'énergie ET, donc le parallélépipède

contiendra l'énergie EcT^2. Nous pouvons donc écrire

(5) $$m = \frac{\varepsilon T}{EcT^2} = \frac{\varepsilon}{EcT}$$

Il reste à calculer le rapport ε/E. Ces deux énergies sont données par les expressions (²)

(6) $$\varepsilon = \chi(\mathrm{div}\vec{v})^2 + 2\eta(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 + 2\gamma_{yz}^2 + 2\gamma_{zx}^2 + 2\gamma_{xy}^2),$$

(7) $$E = p\,\mathrm{div}\vec{v},$$

où

(8) $$\varepsilon_x = \frac{\partial v_x}{\partial x}, \qquad \varepsilon_y = \frac{\partial v_y}{\partial y}, \qquad \varepsilon_z = \frac{\partial v_z}{\partial z},$$

représentent les vitesses de déformation linéaire suivant x, y, z et γ_{xy}, γ_{yz}, γ_{zx}, les vitesses de déformation angulaire. χ est un coefficient de l'ordre de grandeur de η. Comme, dans le cas idéalisé examiné ici, la vitesse de déformation est constante dans l'intervalle de temps T, on peut concevoir que, dans chaque seconde de cet intervalle de temps, se dissipe la même quantité de chaleur

(9) $$\varepsilon = \chi(\mathrm{div}\vec{v})^2 + 2\eta\varepsilon_x^2.$$

Ici, nous avons considéré la déformation seulement dans la direction de Ox et les déformations angulaires comme nulles. En tenant compte du fait que

(10) $$\mathrm{div}\vec{v} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \cong \varepsilon_x,$$

nous obtenons

(11) $$\varepsilon = \varepsilon_x^2(\chi + 2\eta).$$

On a aussi

(12) $$E = p\,\varepsilon_x,$$

donc

(13) $$\frac{\varepsilon}{E} = (\chi + 2\eta)\frac{\varepsilon_x}{p}.$$

Comme les déformations suivant y et z sont nulles, ε_x peut être considéré comme représentant la vitesse de déformation de l'unité de volume. On peut écrire

(14) $$\varepsilon_x = -\frac{\Delta\Omega}{\Omega}\frac{1}{T} \qquad (\Omega = \text{volume}),$$

donc

(15) $$\frac{\varepsilon}{E} = -(\chi + 2\eta)\frac{1}{T}\frac{\Delta\Omega}{\Omega p}.$$

D'autre part, le coefficient de compressibilité μ du liquide est donné par la relation

(16) $$-\mu p = \frac{\Delta\Omega}{\Omega},$$

où p représente la variation de pression. Il en résulte

$$\frac{\varepsilon}{E} = (\chi + 2\eta)\frac{\mu}{T}. \tag{17}$$

Revenant à la formule (5) il résulte

$$m = (\chi + 2\eta)\frac{\mu}{cT^2}. \tag{18}$$

C'est notre formule finale. On observe que m est proportionnel au coefficient de compressibilité, μ, ce qui peut justifier le fait physique d'après lequel un liquide plus compressible dissipe de plus l'énergie sous forme de chaleur.

Si l'on considère n impulsions de durée T secondes, chaque impulsion, dans le parallélépipède cité plus haut, s'accumulera l'énergie EnT^2c.

L'énergie dissipée sous forme de chaleur par seconde sera $\varepsilon n T$.

Le rapport de ces deux énergies reste le même. De cette manière, dans le cas d'un train d'impulsions, le coefficient d'absorption ne dépend que de la durée d'une impulsion et non de la distance entre deux impulsions consécutives. Il est évident que ce résultat reste valable seulement dans le cas où les effets d'inertie se négligent.

Prenons un exemple. Une impulsion de durée 10^{-4} s se propage dans l'eau. Les valeurs numériques des constantes physiques sont les suivantes :

$$\eta = 1{,}5.10^{-2}, \qquad c = 1{,}5.10^5, \qquad \mu = 5.10^{-11}, \qquad \chi = -\frac{2}{3}\eta = -10^{-2}.$$

On trouve pour le coefficient d'absorption la valeur 6.10^{-10} cm^{-1}. Il est donc très petit. En appliquant la formule de Rayleigh, on trouve des valeurs comparables à celles de notre formule.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(1) *Handbuch der Physik*, 8, 1927, p. 649.

(2) W. MÜLLER, *Einführung in die Theorie der zähen Flüssigkeiten*, Leipzig, 1932, p. 21.

ÉLECTRICITÉ. — *Sur certains aspects transversaux de l'extensométrie des résistances pelliculaires.* Note (*) de MM. **Pierre Thureau**, **Bernard Lemière** et **Antoine Colombani**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Si les effets transversaux sur les fils extensométriques sont faciles à réduire ou à éliminer (1), (2), il n'en est plus de même pour les résistances pelliculaires, à tel point que pour ce type de résistances, il n'est plus possible de ne pas tenir compte du support.

Considérons en effet une résistance pelliculaire de forme rectangulaire, d'épaisseur e, solidaire d'un support auquel on imprime une déformation $\Delta L/L$, parallèle au sens pour lequel on mesure la résistance. En appelant σ' le coefficient de Poisson du support, σ celui de la substance extensométrique, et C sa constante de Bridgman, on peut exprimer la variation relative de la résistance électrique en fonction de la variation relative de la longueur du support dont on suppose la résistance solidaire :

$$\frac{dR}{R}=\frac{d\rho}{\rho}+\frac{dL}{L}-\frac{dl}{l}-\frac{de}{e},$$

compte tenu des expressions

$$\frac{d\rho}{\rho}=C\frac{dV}{V}=C\left(\frac{dL}{L}+\frac{dl}{l}+\frac{de}{e}\right),$$

$$\frac{dl}{l}=-\sigma'\frac{dL}{L}$$

$$\frac{de}{e}=-\sigma\left(\frac{dl}{l}+\frac{dL}{L}\right)=-\sigma(1-\sigma')\frac{dL}{L};$$

on obtient en réduisant

$$(1)\qquad K_L=\frac{\dfrac{dR}{R}}{\dfrac{dL}{L}}=2+(c-1)(1-\sigma)(1-\sigma').$$

Si maintenant on considère une déformation transversale, c'est-à-dire perpendiculaire au sens pour lequel on mesure la résistance, on peut déterminer de la même manière un coefficient de sensibilité transversale

$$K_T=\frac{\dfrac{dR}{R}}{\dfrac{dl}{l}},\qquad \text{avec}\quad \frac{dL}{L}=-\sigma'\frac{dl}{l},\qquad \frac{de}{e}=-\sigma(1-\sigma')\frac{dl}{l},$$

il s'exprime par

$$(2)\qquad K_T=-2+(c+1)(1-\sigma)(1-\sigma')+2\sigma(1-\sigma').$$

Ainsi, pour une résistance pelliculaire, il devient impossible de définir un coefficient extensométrique sans avoir précisé d'une part la nature

du matériau support, et sans avoir fixé d'autre part le sens de la déformation, car k_T n'est pas en général négligeable devant k_L.

Nous avons contrôlé l'importance des effets transversaux pour des films de bismuth, obtenus par évaporation sous vide. Ces films sont disposés en croix sur une lame rectangulaire de plexiglas qui est soumise soit à une flexion, soit à une traction (*fig.* 1). Un extensomètre à fil résistant, juxtaposé

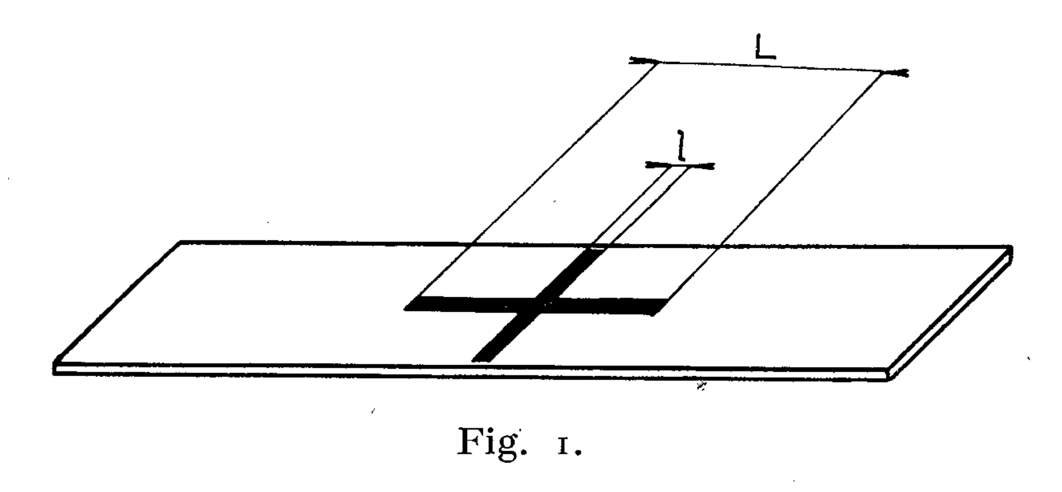


Fig. 1.

au film, permet de déterminer l'allongement relatif de la lame support.

L'épaisseur du film étant difficile à évaluer avec précision, nous avons repéré les divers films par un paramètre e/ρ qui s'exprime en Ω^{-1} et qui ne tient compte que de la résistance du film pour des dimensions superficielles données.

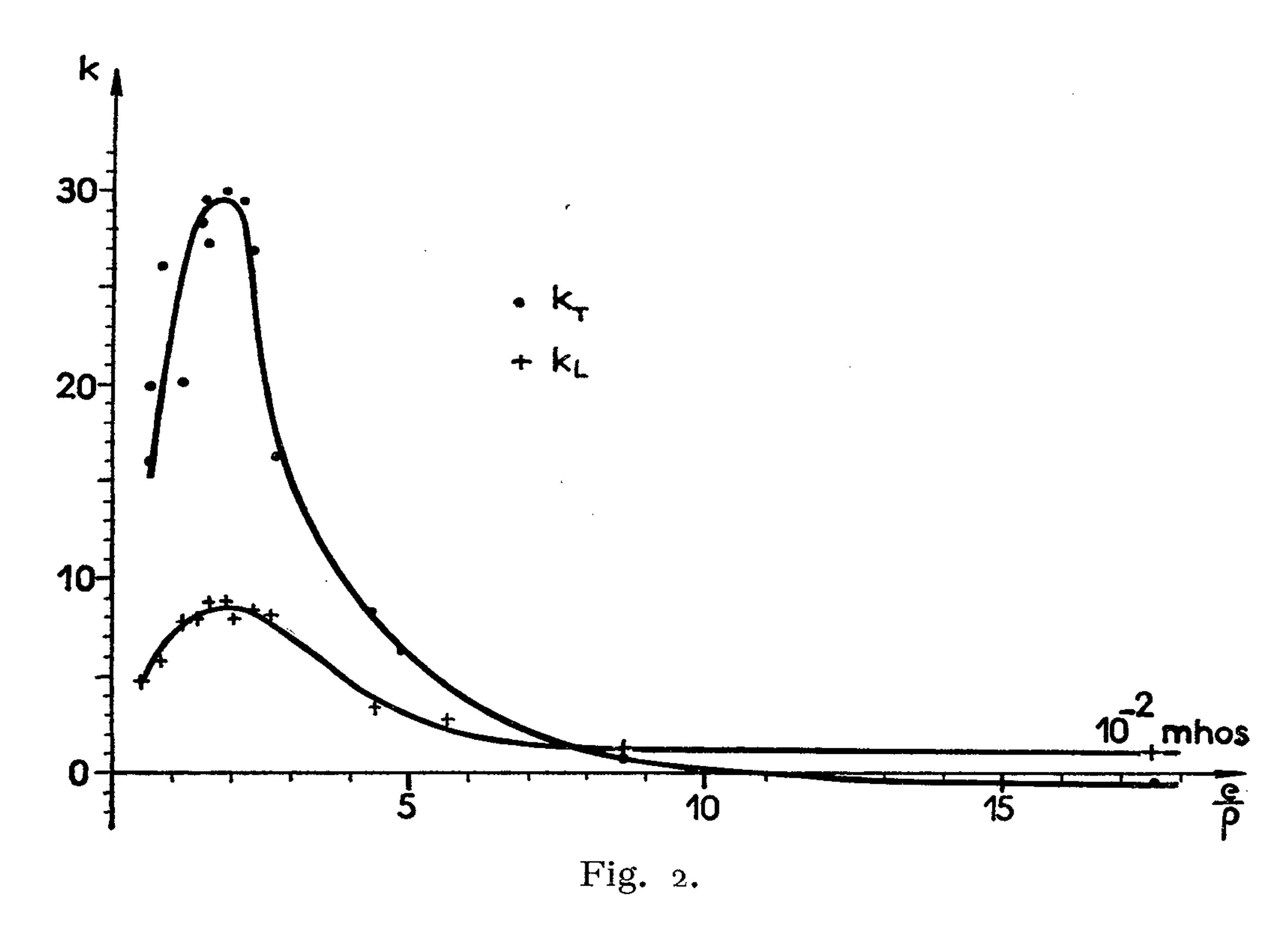


Fig. 2.

Après avoir contrôlé la linéarité de $\Delta R/R$ en fonction de la déformation relative ([3]), ([6]), ([7]), ([8]), nous avons porté sur un même graphique (*fig.* 2) les coefficients longitudinaux k_L et transversaux k_T, en fonction de e/ρ, pour un support de plexiglas de 2 mm d'épaisseur, de qualité demi-plastifiée.

Si, pour des films relativement épais, les coefficients k_L et k_T sont respectivement positifs et négatifs, ainsi que le laissent prévoir les formules (1) et (2), il n'en est pas de même pour les faibles épaisseurs,

pour lesquelles k_T est supérieur à k_L, et positif. La sensibilité transversale atteint près de 4 fois la sensibilité longitudinale pour un rapport e/ρ voisin de 2.10^{-2}, correspondant sensiblement aux maximums des courbes ([3]).

Un effet transversal analogue a été constaté pour des films d'antimoine et d'étain déposés également sur plexiglas. Des essais faits dans les mêmes conditions sur support de verre, donnent des résultats équivalents.

Pour toutes ces mesures, une dérive thermique notable entraîne une sensible dispersion des points expérimentaux ([7]), ([8]).

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) W. T. Bean Jr, *Tatuall Measuring Systems. Detroit. Mich., A. S. T. M. spec. tuh. Public. U. S. A.*, n° 130, 1958, p. 12.

(2) P. Jackson, *Istrum. Proct.*, 6, B, n° 7, 1953, n° 10, p. 775-786.

(3) A. Colombani, B. Laniepse et P. Huet, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3946.

(4) V. I. Kajdanov et A. E. Regel', *Zh. tekk. Fiz. S. S. S. R.*, 28, n° 2, 1958, p. 402-411.

(5) S. Tunakan, *Rev. Fac. Sc. Acad. Istambul*, série C, 19, n° 1, 1954, p. 15-22.

(6) M. Teichgräber et H. Straubel, *Z. Naturforschg*, A, 12, n° 6, 1957, p. 524.

(7) W. R. Campbell, *National Bureau of Standards*, 528, 15 février 1954, p. 131.

(8) A. Krinsky et R. L. Parker, *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 1959, p. 214-215.

MAGNÉTISME. — *Propriétés magnétiques de* Fe_3P. Note de Mme **Marie-Claire Cadeville** et M. **André J.-P. Meyer**, transmise par M. Gabriel Foëx.

Fe_3P est un ferromagnétique normal, avec un point de Curie à 443° C et un moment à saturation de 1,840 μ_B par atome de fer. A 16° C le vecteur aimantation est maintenu dans le plan de base de la maille quadratique par une énergie d'anisotropie : $-5,3.10^6 \sin^2\theta + 2,4.10^6 \sin^4\theta$. Le champ coercitif maximal observé à 18° C est de 107 Oe.

Le composé Fe_3P a été préparé par fusion d'un mélange en proportions adéquates de poudres de fer et de phosphore rouge, fournissant un mélange de Fe_3P et d'une solution solide de Fe-P. Cette dernière est ultérieurement dissoute à l'acide nitrique froid. Fe_3P qui subsiste seul, se présente alors sous forme de petites aiguilles quadratiques, bleuâtres et brillantes. Une fusion de ces aiguilles permet d'obtenir des échantillons massifs de Fe_3P pur, sur lesquels nous avons mesuré une densité de 7,13. D'après Hägg (1), Fe_3P possède une maille quadratique centrée contenant 24 atomes avec $a = 9,108$, $c = 4,455$, $c/a = 0,4891$.

Fe_3P est un ferromagnétique connu (2), (3). L'analyse thermomagnétique nous a montré une variation thermique normale de l'aimantation spontanée. Le point de Curie, bien défini, est à 443°C en bon accord avec les observations antérieures (2), (3).

A température ambiante (16°C), la variation de l'aimantation en fonction du champ est représentée par une loi d'approche à la saturation $\sigma = \sigma_\infty(1 - b/H^2)$ avec $\sigma_\infty = 142,0$ et $b = 6,13.10^6$. Entre 90 et 270°K l'aimantation à saturation varie en fonction de la température suivant une loi $\sigma_{\infty,T°K} = \sigma_{\infty,0°K}(1 - AT^2)$. L'extrapolation vers $T = 0°K$ permet de définir $\sigma_{\infty,0°K} = 155,3$ d'où se déduit un moment absolu de 1,840 μ_B par atome de fer dans la molécule.

L'examen microscopique montre qu'un champ magnétique fait tourner les petites aiguilles quadratiques de Fe_3P de manière à placer leur grand axe perpendiculairement à la direction du champ. On en déduit que la position privilégiée du vecteur aimantation se situe dans le plan de base de la maille quadratique. Les constantes de l'énergie d'anisotropie représentée simplement par $E = K \sin^2\theta + K' \sin^4\theta$ ont été déterminées par la méthode de Sucksmith et Thompson (4) sur un ensemble d'aiguilles orientées dans un champ de topographie adéquate puis fixées par de la paraffine solidifiée. On obtient ainsi à 16°C : $K = -5,3.10^6$, $K' = 2,4.10^6$ ergs/cm³. L'énergie d'anisotropie de Fe_3P est, au signe près, du même ordre de grandeur que celle du cobalt et de MnBi.

Les valeurs numériques de K et K′ définissent la position du vecteur aimantation comme située dans le plan de base du cristal, en accord avec nos observations visuelles. Ce fait permet de prévoir que malgré l'impor-

tance de l'énergie d'anisotropie, le champ coercitif de Fe_3P doit être peu élevé. Le champ coercitif maximal que nous avons pu observer à 18°C sur un ensemble de grains fixés n'est en effet que de 107 Oe.

Entre 90°K et le point de Curie, la variation thermique de l'aimantation relevée dans des champs faibles ne présente pas d'anomalie permettant de conclure à un changement d'orientation préférentielle du vecteur aimantation.

Aux températures supérieures au point de Curie, Fe_3P présente un paramagnétisme normal de Curie-Weiss. A partir de 680°C jusqu'à 1020°C, limite supérieure de nos mesures, les valeurs expérimentales de $1/\chi$ portées en fonction de T définissent une droite $1/\chi = (T-\theta_p)/C$ avec $\theta_p = 508$°C, et $C_{Mol} = 4,23$ d'où se déduit un moment paramagnétique conventionnel de 1,94 μ_B par atome de fer de la molécule.

(1) G. Hägg, *Z. Krist.*, 68, 1928, p. 470; *Nova Acta Regiae Soc. Sc. Upsaliensis*, (4), 7, 1929, p. 26-43.

(2) H. Le Chatelier et S. Wologdine, *Comptes rendus*, 149, 1909, p. 709.

(3) J. L. Haughton, *J. Iron Steel Inst.*, 115, 1927, p. 417-433.

(4) W. Sucksmith et J. E. Thompson, *Proc. Roy. Soc.*, 225 A, 1954, p. 362.

(Laboratoires Pierre Weiss, Institut de Physique, Strasbourg.)

ÉLECTROMAGNÉTISME THÉORIQUE. — *Sur la théorie du câble coaxial.* Note (*) de M. **Paul Poincelot**, présentée par M. Louis de Broglie.

J'ai l'intention d'étudier la propagation le long d'un câble coaxial, en régime sinusoïdal, à partir des équations de Maxwell, sans introduire les notions de constantes linéiques, et en simplifiant les hypothèses faites par M. Pollaczek [1]. La méthode peut d'ailleurs être appliquée à toutes les structures coaxiales, lorsque le phénomène admet une symétrie cylindrique. La section droite du câble est représentée par la figure, où les milieux 1 et 3 sont constitués par le même métal, tandis que 2 est un diélectrique. Je choisis un système de coordonnées cylindriques (z, ρ, φ), l'axe Oz étant perpendiculaire au plan de la figure. Le conducteur externe s'étend à l'infini. Pour chacun des milieux, le champ magnétique possède une seule composante $\mathcal{H}_\varphi = \mathcal{H}$, qui satisfait à l'équation

$$\overrightarrow{\text{rot rot}\,\mathcal{H}} - k^2 \vec{\mathcal{H}} = 0,$$

avec

$$k = \sqrt{\mu\varepsilon\omega^2 - i\mu\sigma\omega} \qquad [\mathcal{R}(k) > 0,\ \mathcal{I}(k) < 0].$$

Les composantes du champ électrique sont

$$(1) \qquad E_z = \frac{1}{i\omega\varepsilon + \sigma}\,\frac{1}{\rho}\,\frac{\partial}{\partial\rho}(\rho\mathcal{H}),$$

$$E_\rho = -\frac{1}{i\omega\varepsilon + \sigma}\,\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial z}.$$

Appliquant des formules connues du calcul vectoriel, on trouve aisément

$$\frac{\partial^2\mathcal{H}}{\partial\rho^2} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial\rho} - \frac{1}{\rho^2}\mathcal{H} + \frac{\partial^2\mathcal{H}}{\partial z^2} + k^2\mathcal{H} = 0.$$

Je recherche un mode de propagation à variables séparées :

$$\mathcal{H}(\rho, z) = f(\rho)\,g(z);$$

il vient

$$g'' + \alpha^2 g = 0, \qquad f'' + \frac{1}{\rho}f' + \left(k^2 + \alpha^2 - \frac{1}{\rho^2}\right)f = 0 \qquad (\alpha = \text{Cte}).$$

D'où la solution

$$\mathcal{H} = C_1(\rho u)\,e^{-\alpha z},$$

C_1 étant une fonction cylindrique, avec

$$u = \sqrt{k^2 + \alpha^2} \qquad [\mathcal{R}(u) > 0,\ \mathcal{I}(u) < 0].$$

Posant $u/(i\omega\varepsilon + \sigma) = w$, je trouve la solution :

$$\text{Milieu 1 :}\ \mathcal{H} = A_1 J_1(\rho u_1)\,e^{-\alpha z},$$

$$\text{» 2 ;}\ \mathcal{H} = [A_2 J_1(\rho u_2) + A_3 N_1(\rho u_2)]\,e^{-\alpha z},$$

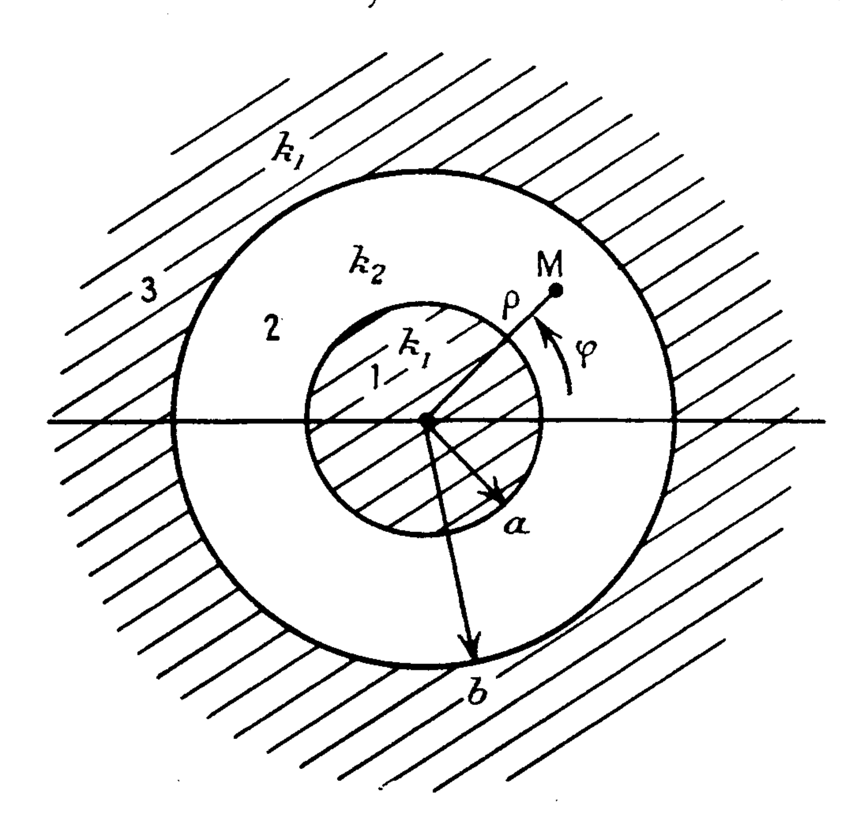
$$\text{» 3 :}\ \mathcal{H} = A_4 H_1^{(2)}(\rho u_1)\,e^{-\alpha z},$$

compte tenu de la valeur des fonctions $N_1(\rho u_1)$ et $H_1^{(2)}(\rho u_1)$, respectivement, pour $\rho = 0$ et $\rho = +\infty$.

En vertu de (1) et de propriétés connues des fonctions cylindriques de première espèce, la composante longitudinale du champ électrique a pour expression :

$$\text{Milieu } 1: \quad E_z = A_1 w_1 J_0(\rho u_1)\, e^{-\alpha z},$$
$$\text{» } 2: \quad E_z = w_2[A_2 J_0(\rho u_2) + A_3 N_0(\rho u_2)]\, e^{-\alpha z},$$
$$\text{» } 3: \quad E_z = A_4 w_1 H_0^{(2)}(\rho u_1)\, e^{-\alpha z}.$$

J'exprime ensuite la continuité de $\mathcal{H}$ et de E_z, aux surfaces de discontinuité; avec la condition à l'infini, elle assure l'unicité de la solution ([3]).



J'obtiens, pour déterminer les constantes arbitraires A_1, A_2, A_3 et A_4, un système algébrique linéaire et homogène de quatre équations à quatre inconnues :

$$A_1 J_1(au_1) - A_2 J_1(au_2) - A_3 N_1(au_2) + 0 = 0,$$
$$0 + A_2 J_1(bu_2) + A_3 N_1(bu_2) - A_4 H_1^{(2)}(bu_1) = 0,$$
$$A_1 w_1 J_0(au_1) - A_2 w_2 J_0(au_2) - A_3 w_2 N_0(au_2) + 0 = 0,$$
$$0 + A_2 w_2 J_0(bu_2) + A_3 w_2 N_0(bu_2) - A_4 w_1 H_1^{(2)}(bu_1) = 0.$$

Soit Δ le déterminant des inconnues. On vérifie facilement qu'il n'est pas identiquement nul. La condition $\Delta = 0$ conduit à une équation transcendante pour la détermination de α ([4]), et par suite, des champs en tous points. Ce calcul pourrait être entrepris par un laboratoire spécialisé, pourvu des machines à calculer actuelles.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

([1]) F. Pollaczek, *J. Phys. Rad.*, 8, nos 7 et 8, juillet et août 1947.

([2]) L. de Broglie, *Problèmes de propagations guidées d'ondes électromagnétiques*, Gauthier-Villars, 2e éd., 1951.

([3]) P. Poincelot, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2182; *Annales des Télécommunications*, 15, nos 3-4, mars-avril 1960, p. 77-83.

([4]) A. M. Clogston, *Bell Syst. Tech. J.*, 30, juillet 1951, p. 491-526; *Proc. I. R. E.*, juillet 1951, p. 767-782; S. P. Morgan, *Bell Syst. Tech. J.*, septembre 1952, p. 883-949; novembre 1952, p. 1121-1206.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Résonance magnétique nucléaire haute résolution de composés acétyléniques. Effets de solvant sur la fréquence de résonance de l'hydrogène acétylénique des alcynes-*1. Note (*) de M. **Bernard Braillon**, présentée par M. Jean Lecomte.

L'identification ([1]), dans le spectre de résonance magnétique nucléaire haute résolution des alcynes-1 à chaîne droite, des fréquences de résonance de plusieurs groupes de protons de la molécule a permis l'étude des effets de différents solvants sur les déplacements chimiques de l'hydrogène acétylénique vrai et des hydrogènes du méthyle terminal.

Les mesures ont été faites à 30 MHz (spectromètre Varian V 4300-B), par rapport au tétraméthylsilane (TMS) référence interne, par la méthode des satellites de modulation sur des solutions étendues d'alcyne-1 dans chacun des solvants étudiés. Les résultats obtenus ont été extrapolés graphiquement à concentration nulle dans chaque solvant. La précision sur les valeurs extrapolées est estimée à $\pm$ 0,15 Hz, soit $\pm$ 0,005 millionième. Le tableau donne les valeurs des « effets de solvant », ainsi mesurés, dans le cas de l'hexyne-1 (colonnes 3 et 4) et, pour comparaison, ceux déjà mesurés, de façon légèrement différente, dans le cas du chlorure de propargyle ([2]) (colonne 5) et du bromure de propargyle ([3]) (colonne 6).

L'examen du tableau conduit aux remarques suivantes :

a. Hormis les cas de C_6H_6 et, à un degré bien moindre, de CCl_4, les « effets de solvant » sur les hydrogènes du méthyle terminal sont pratiquement nuls. A ces exceptions près, ceci justifie l'utilisation d'une référence interne pour l'évaluation des effets de solvant et permet de penser que le remplacement de TMS par C_6H_{12} aurait donné les mêmes résultats.

b. Aucune corrélation, même approximative, n'est apparente entre les valeurs des effets de solvant observés sur l'hydrogène acétylénique et,

— d'un point de vue général, le caractère accepteur de proton plus ou moins marqué des solvants étudiés;

— d'un point de vue particulier, les déplacements de fréquence de la vibration ν (CC—H) observés dans les mêmes solvants ([6]). Ainsi :

1° les valeurs de $\tau^{S}_{CCH} - \tau^{C_6H_{12}}_{CCH}$ varient comme les nombres 1 : 1,6 : 2,7, quand on passe de l'oxyde de butyle à l'oxyde d'éthyle, puis au dioxanne, alors que les déplacements de fréquence correspondants observés en absorption infrarouge sont égaux à la précision des mesures près ([6]);

2° les solvants « inertes » CCl_4 et CS_2 ont ici un effet appréciable;

c. Le parallélisme entre les résultats obtenus pour l'hexyne-1, le chlorure et le bromure de propargyle est assez grossier et la discordance remar-

quable pour le benzène. Si l'on suit la proposition de Bothner-By [4] d'écrire $\beta_H^S = x_H y_S$, les effets cités à la colonne 5, devraient se déduire de ceux cités à la colonne 4 par multiplication par un facteur constant; de même pour ceux de la colonne 6.

1	2	3	4	5	6
		Hexyne-1.		Chlorure de propargyle	Bromure de propargyle
Solvant S.	$-10^6\chi^S$ à 20° C.	$(\tau_{CH_3}^S - \tau_{CH_3}^{C_6H_{12}})$.	$(\tau_{CCH}^S - \tau_{CCH}^{C_6H_{12}})$.	$(\tau_{CCH}^{\prime S} - \tau_{CCH}^{\prime C_6H_{12}})$.	$(\beta_{CCH}^S - \beta_{CCH}^{C_6H_{12}})$.
Cyclohexane	0,612	0	0	0	0
Tétraméthylsilane	0,505	+0,002	−0,008	–	0,00 (3)
Tétrachlorure de carbone	0,693	−0,028	−0,053	−0,16 (3)	−0,24 (3)
Sulfure de carbone	0,700	−0,003	−0,057	–	−0,39 (3)
Benzène	0,617	+0,178	−0,087	+0,31 (2)	+0,79 (3)
Bromure d'hexyle	–	+0,010	−0,137	–	–
Oxyde de butyle	–	–	−0,192	–	–
Hexyne-1	–	+0,002	−0,200	–	–
Heptyne-2	–	–	−0,235	–	–
Octyne-3	–	–	−0,247	–	–
Oxyde d'éthyle	–	–	−0,300	–	–
Bromure de propargyle	0,723	+0,010	−0,327	–	−0,62 (3)
p-dioxanne	–	+0,013	−0,510	−0,75 (2)	–

Notations [4] : Les déplacements chimiques sont évalués en millionième dans le sens des champs magnétiques croissants :

τ_H^S, déplacement chimique du proton H (CCH : hydrogène acétylénique; CH_3 : méthyle terminal) à concentration nulle dans le solvant S, par rapport au TMS référence interne;

$\tau_H^{\prime S}$, même quantité par rapport au cyclohexane référence interne;

$\beta_H^S = \delta_H^S - \delta_H^0 - \frac{2}{3} \cdot \pi \, 10^6 \chi^S$;

δ_H^S, déplacement chimique du proton H, à concentration nulle dans le solvant S, par rapport à une référence externe arbitraire;

δ_H^0, déplacement chimique du proton H, le composé étant pris à l'état gazeux, par rapport à la même référence externe;

χ^S, susceptibilité magnétique volumique du solvant S.

Les effets de solvant déduits des mesures de la référence [3] ont été recalculés en utilisant des données récentes de susceptibilité magnétique [5].

Les remarques *b* et *c* soulignent la difficulté d'interprétation des effets de solvant du type étudié ici, effets beaucoup plus faibles que ceux observés dans le cas de forte association, hydrogène alcoolique dans solvants accepteurs de proton par exemple. Il est vraisemblable que, dans le cas présent, plusieurs phénomènes comparables se superposent pour donner les effets observés [*voir*, par exemple, [2]].

(*) Séance du 3 octobre 1960.
(1) B. Braillon et R. Romanet, *Comptes rendus du 9e Colloque Ampère*, Pise, 1960; *Arch. Sc.*, fasc. spéc. (sous presse).
(2) R. E. Richards, *Proc. Roy. Soc.*, 255, 1960, p. 72.
(3) E. B. Wipple, J. H. Golstein, L. Mandell, G. S. Reddy et G. R. Mc Clure, *J. Amer. Chem. Soc.*, 81, 1959, p. 1321.
(4) A. A. Bothner-By, *J. Molec. Spectr.*, 5, 1960, p. 52.
(5) G. Foëx, *Constantes sélectionnées, diamagnétisme et paramagnétisme*, Masson, Paris, 1957.
(6) B. Wojtkowiak et R. Romanet, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3980.

(*Laboratoire de Chimie générale, Faculté des Sciences, Caen, Calvados.*)

CHIMIE PHYSIQUE. — *Orientation des cycles benzéniques et délocalisation électronique dans les molécules du type polyphénylamine.* Note (*) de M. **Pierre Bothorel**, présentée par M. Paul Pascal.

Les anisotropies optiques des molécules polyphényliques dépendent de l'orientation et de l'état électronique des cycles benzéniques. Il existe une délocalisation électronique importante entre les cycles de la triphénylamine, dont la structure a été déterminée récemment par diffraction électronique. Cette délocalisation existe également dans les polyphénylphosphine, stibine et bismuthine.

Dans une Note récente ([1]), nous avons montré comment la mesure de la diffusion Rayleigh des solutions permet de déterminer la structure de certaines molécules polyphényliques. Il faut que les cycles benzéniques, comme dans le diphénylméthane, les triphénylméthane, silane, etc., ne soient pas conjugués. Ces molécules ont un axe de symétrie dont le degré est égal au nombre de cycles. Les atomes de carbone placés en ortho de deux cycles différents sont à des distances C...C identiques dans tous les dérivés d'un même atome central : carbone, silicium, étain ou plomb. Ces distances sont égales à 2,80 Å dans les polyphénylméthanes, 3,30 Å dans les polyphénylsilanes, 4,00 Å dans les polyphénylstannanes et 4,34 Å dans le tétraphénylplombane. C...C varie peu quand la molécule cristallisée est mise en solution.

Nous avons également étudié la diffusion Rayleigh des solutions dans le cyclohexane des di- et triphénylamine, des triphénylphosphine, stibine et bismuthine. Au moyen des mêmes hypothèses faites dans le cas des polyphénylméthanes, on peut calculer l'orientation des cycles benzéniques. Ces hypothèses sont l'existence d'un axe de symétrie binaire (diphénylamine) ou ternaire (triphénylamine) et l'isolement électronique des cycles.

Pour chaque molécule, le calcul donne l'angle φ_c que fait chaque cycle benzénique avec le plan contenant l'axe de symétrie moléculaire et la liaison cycle-atome central.

	φ_c. (diffusion Rayleigh)	φ_c.	C...C.
Triphénylamine............	73°	47 ([3])	3,15 Å
Triphénylphosphine........	58	–	–
Triphénylstibine............	62	–	–
Triphénylbismuthine........	66	31° ([2])	5,00 Å

Ces angles semblent peu compatibles avec l'encombrement stérique des cycles. Pour la diphénylamine on obtient une solution impossible ($\sin^2 \varphi_c$ négatif ou supérieur à 1). Une des hypothèses au moins n'est pas valable. En 1942, Wetzel ([2]) avait conclu à la présence d'un axe de symétrie ternaire dans la triphénylbismuthine cristallisée et à la coplanéité des liaisons du bismuth. Dernièrement, Sasaki, Kimura et Kubo ([3]) ont

déterminé la structure de la triphénylamine en phase vapeur, à 150°, par diffraction électronique. Ils ont également trouvé un axe de symétrie ternaire, mais les trois liaisons de l'azote ne sont pas exactement coplanaires (CNC = 116° ± 2). Par comparaison avec les polyphénylméthanes, il est logique de penser que les orientations des cycles dans le cristal, la solution ou la vapeur, diffèrent seulement de quelques degrés. Dans l'expérience de Sasaki et de ses collaborateurs, la vapeur est en équilibre avec le liquide et la température est supérieure de 23° à celle du point de fusion. Or les angles φ_e observés sont de 47° dans la triphénylamine et de 31° dans la triphénylbismuthine, valeurs très différentes des angles φ_c correspondants (73 et 66°). Ces molécules ont un axe de symétrie ternaire, mais les cycles ne sont pas électroniquement indépendants, et il faut en conclure qu'une délocalisation électronique existe entre les cycles, par l'intermédiaire du doublet libre de l'atome central, donnant à la molécule une grande anisotropie optique (4).

Cette conclusion s'étend naturellement aux termes intermédiaires, les triphénylstibine et bismuthine; elle confirme les résultats de l'étude de Jaffé (5) sur l'absorption ultraviolette de ces composés. Pour des liaisons coplanaires de l'atome central, le doublet libre est représenté par une orbitale *p*, très favorable à une résonance avec les électrons π des cycles.

Dans la vapeur de triphénylamine la distance minimale C...C est de 3,15 Å environ, de 5,00 Å dans la triphénylbismuthine cristallisée. On retrouve la même progression que dans la série des polyphénylméthanes et plombanes. L'orbitale *p* du doublet libre de l'azote ou du bismuth est placée sur l'axe ternaire de la molécule. Dans la triphénylamine les orbitales π de chaque cycle font un angle de 40° environ avec cette orbitale *p*, de 60° dans la triphénylbismuthine. Dans le biphényle, on admet généralement que l'énergie de résonance devient rapidement négligeable quand l'angle entre les cycles, donc entre les orbitales π, dépasse 25°. Sans faire une comparaison étroite entre ces deux cas, on peut noter que l'énergie de résonance est très élevée dans la série des polyphénylamines pour des angles supérieurs à 25°.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) *a.* P. BOTHOREL, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2129; *b.* P. BOTHOREL, *Ann. Chim.*, 1959, p. 669-712.

(2) J. WETZEL, *Z. Kristal.*, 104, 1942, p. 305-346.

(3) YASUSHI SASAKI, KATSUMI KIMURA et MASAJI KUBO, *J. Chem. Phys.*, 31, 1959, p. 447-481.

(4) L'anisotropie du doublet électronique ne peut pas expliquer la différence entre les angles φ_c et φ_e [*voir* (1b)].

(5) H. H. JAFFÉ, *J. Chem. Phys.*, 22, 1954, p. 1430-1433.

(*Laboratoire de Chimie Physique, Faculté des Sciences, Bordeaux.*)

ÉLECTROCHIMIE. — *Sur une électrode de comparaison utilisable en bains de sels oxygénés à haute température.* Note (*) de MM. **Jean Besson**, **Charles Deportes** et **Michel Darcy**, transmise par M. Louis Hackspill.

L'électrode est constituée par la chaîne Pt, O_2 (1 atm)/ZrO_2 stabilisée par CaO/bain. On montre que, sous certaines réserves, sa tension est identique à celle de l'électrode Pt, O_2 (1 atm)/bain. Dans le métasilicate de sodium à 1 200° C, cette électrode est très sensiblement réversible.

Les mesures de tensions d'électrode en milieu de sels oxygénés fondus ont été gênées jusqu'à présent par l'absence d'une électrode de comparaison convenable. Une revue des quelques études faites dans ce domaine a été donnée récemment par Gallay ([1]).

Dans la majorité des cas, les auteurs ont utilisé une électrode platine-oxygène, sans avoir d'ailleurs toujours établi la réversibilité de cette électrode dans les conditions de son utilisation. Ils n'ont jamais dépassé 1000° C. A des températures supérieures, de multiples difficultés technologiques — corrosion du métal par action conjuguée du bain et de l'oxygène, difficulté de réaliser un barbotage convenable de l'oxygène dans un sel fondu — rendent l'emploi de l'électrode à oxygène délicat, sinon impossible. L'emploi d'une électrode du deuxième genre comme l'électrode « à oxyde » ([1]) semble une solution élégante; mais son emploi reste limité au cas particulier où l'on peut saturer le bain avec un oxyde métallique, ce qui n'a pas lieu pour la plupart des sels oxygénés (silicates et borates notamment), bons dissolvants des oxydes métalliques.

L'électrode que nous proposons tend à résoudre ces diverses difficultés. Elle est constituée par la chaîne : Pt, O_2 (1 atm)/ZrO_2 stabilisée par CaO/bain.

Le contact électrique intérieur (*fig.* 1) est réalisé grâce à de la limaille de platine ([2]). L'interphase platine-zircone est constamment baignée par un courant d'oxygène à la pression atmosphérique.

Théorie de l'électrode. — Désignons par α, β, γ, respectivement les phases platine, zircone et bain. L'interphase α — β est le siège de la réaction électrochimique :

$$\frac{1}{2} O_{2_\alpha} + 2 e_\alpha^- \rightleftharpoons O_\beta^{2-}.$$

A l'interphase β — γ existe une tension de jonction dont la valeur dépend des ions échangés. Or, une solution solide de CaO dans ZrO_2 possède une conduction non seulement purement ionique ([3]), mais en outre due uniquement aux ions O^{2-} ([4]).

Dans l'hypothèse où aucun des ions du bain ne peut migrer dans la

zircone, à l'exception des ions O^{2-}, l'échange ionique à l'interphase $\beta - \gamma$ se réduit à :

$$O^{2-}_{\beta} \rightleftharpoons O^{2-}_{\gamma}$$

et la réaction globale de l'électrode à :

$$\frac{1}{2} O_{2_\alpha} + 2 e^{-}_{\alpha} \rightleftharpoons O^{2-}_{\gamma}$$

Elle est donc identique à celle d'une électrode à oxygène Pt, O_2/bain.

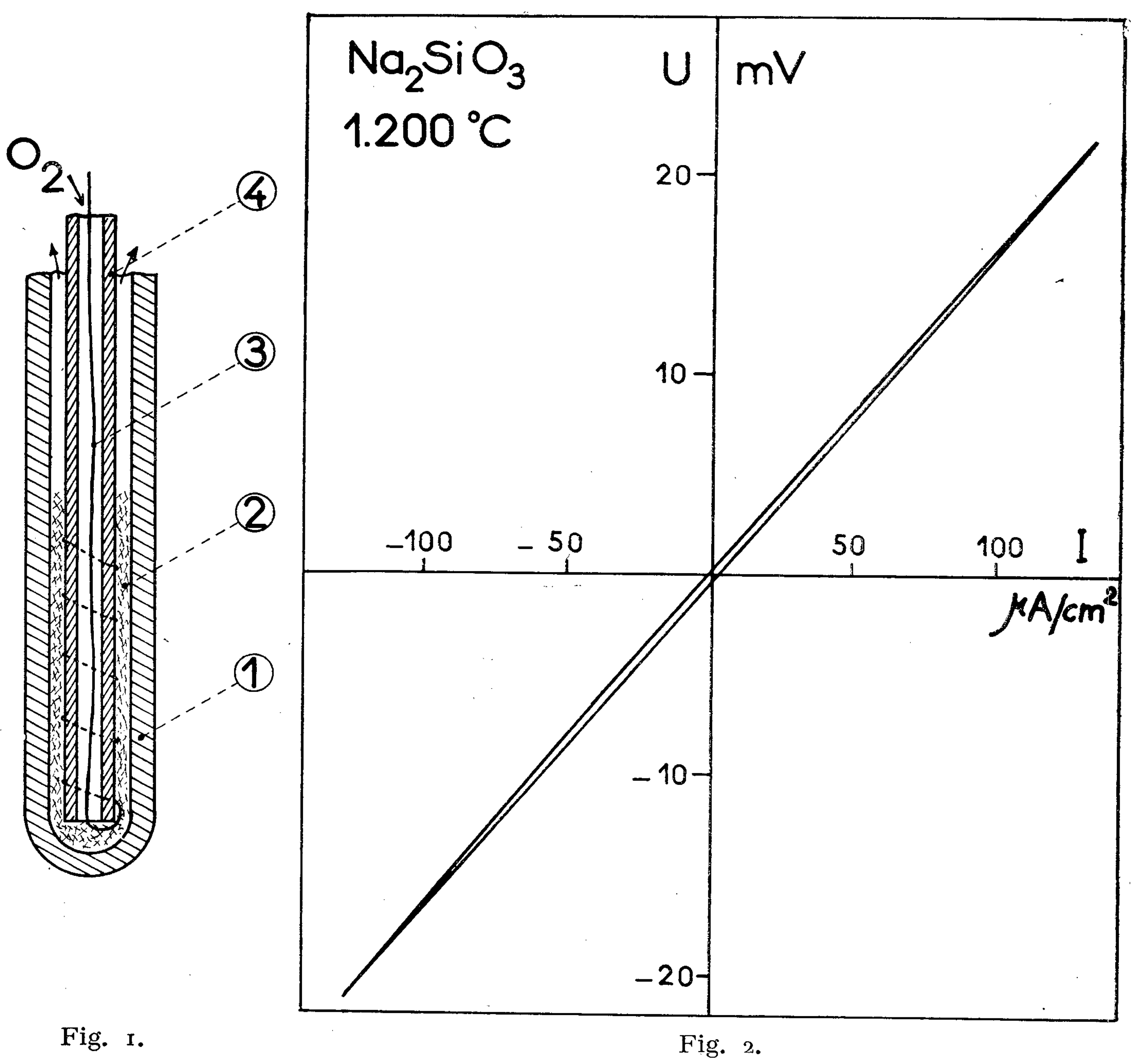


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — 1, gaine de zircone; 2, limaille de platine; 3, fil de platine; 4, tube d'amenée d'oxygène en alumine frittée.

La composition chimique de la zircone n'intervient pas, et ce réfractaire joue seulement le rôle d'une paroi semi-perméable aux ions O^{2-}.

Étude du comportement de l'électrode dans le métasilicate de sodium a 1200° C. — Nos essais ont porté sur un lot de cinq électrodes réalisées avec des tubes de zircone stabilisée commerciale; ces tubes

présentent malheureusement une part de conduction électronique ainsi que l'a montré l'un de nous (5). Ils résistent particulièrement bien à la corrosion.

A. *Mise en équilibre et stabilité.* — Deux électrodes immergées ensemble dans le bain présentent une différence de potentiel immédiatement stable et inférieure à 5 mV. Une électrode neuve présente par rapport à une électrode ayant déjà été utilisée pendant une dizaine d'heures, une différence de potentiel qui peut atteindre 30 mV, mais qui s'abaisse progressivement; l'équilibre, à 5 mV près, est atteint au bout de 10 h environ.

Dans tous les cas, lorsque l'équilibre est atteint, les fluctuations de la différence de potentiel entre deux électrodes ne dépassent pas 2 mV.

B. *Retour à l'équilibre.* — Après avoir fait circuler un courant de 1 mA entre deux électrodes, on observe, après coupure, un retour à l'équilibre à 1 mV près en moins de 1 mn.

C. *Réversibilité.* — Elle a été contrôlée en faisant circuler un courant entre deux électrodes et en traçant dans les deux sens la courbe U (I) (*fig.* 2). Cette courbe est très sensiblement linéaire pour une densité de courant inférieure à 100 μ A/cm^2.

L'électrode à zircone présente un domaine d'utilisation extrêmement étendu en raison :

— de l'intervalle de température (700-1700° minimum) où l'on peut réaliser une phase zircone conductrice par les ions O^{2-};

— du nombre considérable de sels oxygénés dans lesquels la zircone n'est pas sensiblement corrodée.

Elle a les mêmes limites théoriques que l'électrode à oxygène classique, c'est-à-dire nécessite l'existence dans le bain d'ions oxygène soit seuls, soit en équilibre avec l'anion oxygéné du bain.

Les études en différents milieux se poursuivent.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) J. J. GALLAY, *Thèse*, Lyon, juillet 1960.

(2) Cette technique a été étudiée dans les laboratoires de la Compagnie Saint-Gobain et déjà utilisée par l'un de nous (5).

(3) W. D. KINGERY, J. PAPPIS, M. E. DOTY et D. C. HILL, *J. Amer. Ceram. Soc.*, 42, 1959, p. 393-398.

(4) K. KIUKKOLA et C. WAGNER, *J. Electrochem. Soc.*, 104, n° 6, 1957, p. 379-387.

(5) M. DARCY, *Thèse*, Grenoble, 1960.

MÉTALLOGRAPHIE. — *Sur la pénétration du soufre par corrosion dans les aciers placés sous tension dans le sulfure de sodium.* Note (*) de MM. **Eugène Herzog** et **Laszlo Bäcker**, présentée par M. Georges Chaudron.

Les aciers trempés et revenus partiellement se rompent rapidement dans le sulfure de sodium, lorsqu'ils sont soumis aux contraintes voisines de la limite élastique. En l'absence de contraintes, même après immersion très longue, les caractéristiques mécaniques, la ductilité, ne sont pas modifiées. La diffusion d'hydrogène est nulle ou très faible, si bien que l'hypothèse d'une action spécifique du soufre en profondeur pouvait être envisagée ([1]).

Nous avons étudié la pénétration du soufre dans l'acier par marquage avec ^{35}S; on opérait dans une solution de sulfure de sodium 4 %, pH 7,5. L'acier utilisé avait la composition suivante :

C.	Cr.	Mo.	Mn.	Si.	S.	P.
0,35	1,09	0,26	0,69	0,26	0,007	0,018

Il a été trempé de 850° C dans l'huile, et revenu pendant 2 h à 550° C, ces traitements lui ont conféré une structure de bainite avec

$$E = 103, \quad R = 111, \quad A = 10,7, \quad \Sigma = 63\ \%.$$

Sollicité à 90 kg/mm² il se rompt dans cette solution au bout de 10 h (éprouvette de traction, Ø 3 mm).

Les dosages et dissolutions successives ont été effectués sur barrettes de 34 × 10 × 2 mm. Nous avons donc pour cette étude de principe adopté un dispositif simple de mise sous contrainte par flexion à flèche imposée (*fig.* 1). Bien que l'essai de traction eut été préférable, ayant un taux de contraintes bien défini, l'étude de la pénétration du ^{35}S n'aurait pas pu être effectuée sur éprouvettes cylindriques sans des difficultés de manipulation.

La formation de dépôts de sulfures soit par la corrosion, soit par attaque anodique, se traduit par une activité superficielle très intense, aussi avons-nous éliminé ces produits par attaque rapide de quelques secondes dans l'acide chlorhydrique, suivie d'un polissage électrolytique (réactif de Jacquet — acide perchlorique — acétique). La dissolution a été faite, comme dans une étude précédente ([2]), par NO_3H ($d = 1,40$), tandis que l'oxydation complète a été effectuée par l'eau oxygénée. Les anions de sulfates, contenant des atomes marqués de soufre, ont été précipités sous forme de $BaSO_4$.

Le rapport S : ^{35}S a été déterminé d'avance, nous avons ainsi pu

apprécier pour chaque couche dissoute l'activité, non seulement en coups/minute, mais encore la teneur en soufre.

L'essai sans courant d'immersion pendant 48 h a été trop court pour provoquer la rupture. Les éprouvettes exemptes de fissures visibles ont montré une intense pénétration de ^{35}S de 0,10 mm de chaque côté (*fig.* 2), en effet la première couche superficielle qui s'étend à 0,05 mm de profondeur renferme environ 0,25 % soufre, décroît rapidement et à 0,10 mm

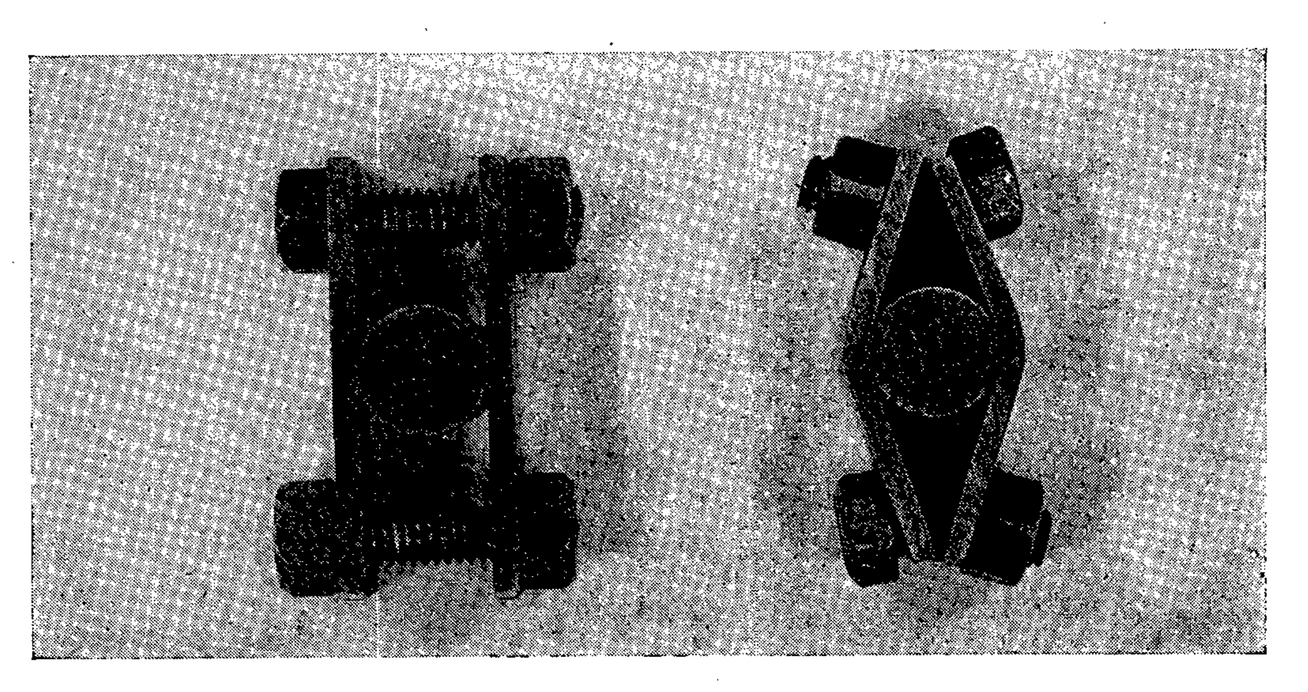


Fig. 1.

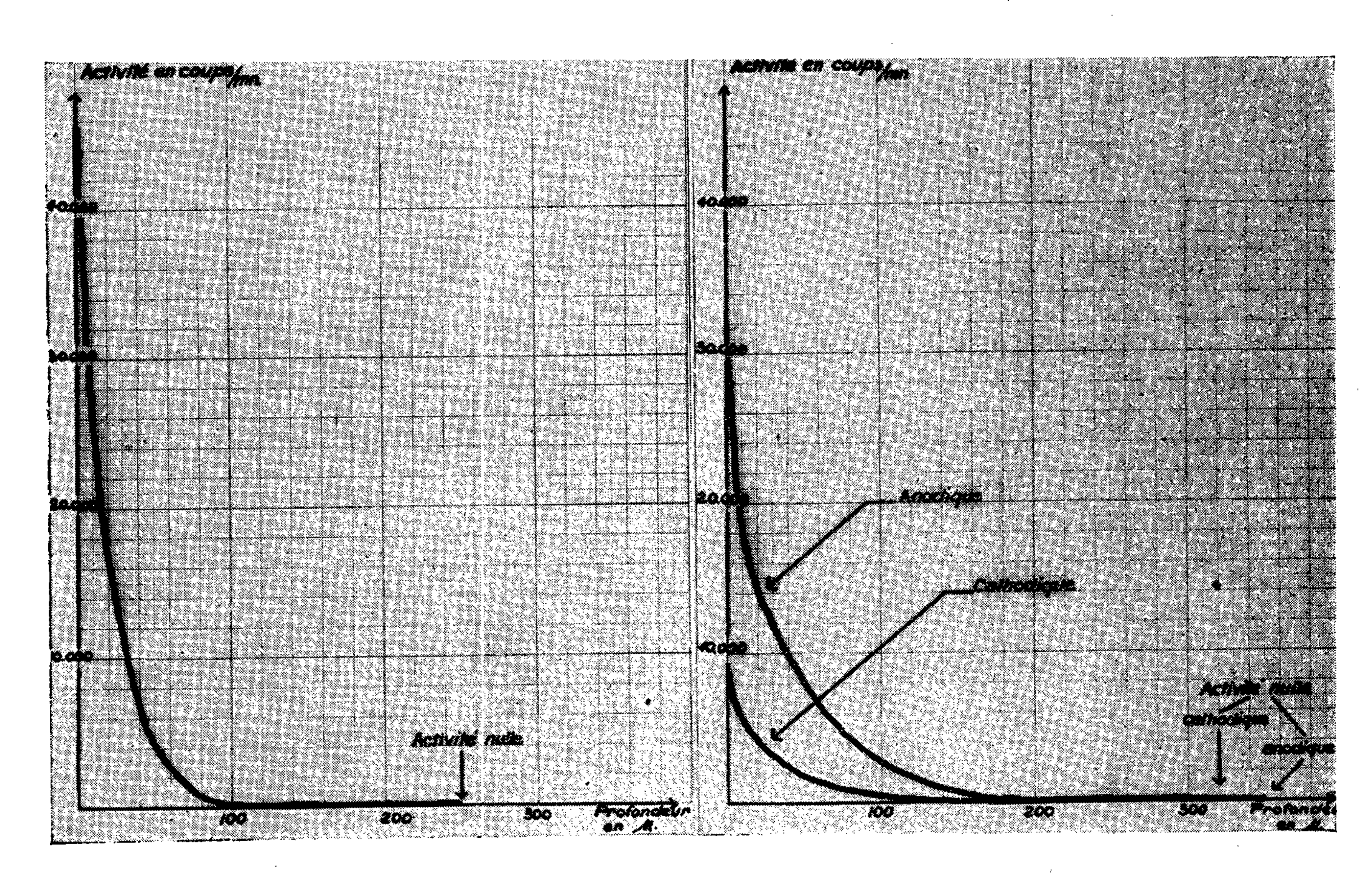


Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 2. — Activité superficielle mesurée suivant les différentes couches de l'échantillon, mise en œuvre par dissolution. Essai sans courant. Durée : 48 h.

Fig. 3. — Activité superficielle mesurée suivant les différentes couches de l'échantillon, mise en œuvre par dissolution. Essais anodique et cathodique. Densité de courant : 1 mA/cm². Durée : 6 h.

il n'y a plus que 0,016 % soufre. L'allure de la courbe ne suit pas une loi exponentielle.

Les essais avec courant ont donné lieu à des ruptures, déjà au bout de 6 h d'électrolyse avec 0,001 A/cm² de densité.

Par activation anodique (*fig.* 3) la pénétration est de 0,35 mm. Les fissures sont entourées de fortes teneurs en soufre, ayant diffusé au-delà de l'extrémité des lèvres, à l'intérieur du métal, l'action des contraintes fait ainsi avancer la diffusion (0,45 mm).

C'est toujours la couche superficielle de 20-30 μ qui est très riche en soufre (> 0,2 %). Le chargement cathodique accuse aussi une pénétration de ^{35}S sur 0,10-0,15 mm de profondeur (6 h sous 1 mA/cm²) qui s'arrête complètement vers 0,3 mm (*fig.* 3). L'aspect de surface et la pénétration sont plus uniformes, mais les concentrations sont seulement de 0,1 % contre 0,3 %, par comparaison au cas précédent dans la zone superficielle de 50 μ. En l'absence de soufre, le chargement cathodique ou l'attaque anodique dans la solution de soude caustique à 4 %, ne provoquent pas de rupture, toutes autres conditions étant les mêmes.

La diffusion du soufre peut être bloquée par certains revêtements métalliques, dans ce cas la rupture ne se produit plus. Ce résultat a été obtenu avec une couche de 5 à 10 μ d'alliage Al-Si (13 %) ou d'aluminium sur le même acier et traité pour la même structure bainitique.

Nous poursuivons ces expériences en milieu acide et nous en rendrons compte dans une prochaine publication.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) E. HERZOG, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1499.
(2) S. BESNARD et I. TALBOT, *Mém. scient. Rev. Métall.*, 56, n° 7, 1959, p. 681.

(*Centre de Recherches des Aciéries de Pompey.*)

MACROMOLÉCULES. — *Copolymères de N-vinylpyrrolidone et de sulfate acide de vinyle.* Note (*) de M. **Jacques Bourdais**, transmise par M. Jacques Duclaux.

Il semblait intéressant d'introduire sur la molécule de polyvinylpyrrolidone des groupes ester sulfurique, afin d'obtenir de nouveaux composés héparinoïdes, analogues aux polyesters sulfuriques d'alcool polyvinylique décrits par F. Patat et K. Vogler [1]; on pouvait espérer une toxicité moindre de ces nouveaux produits, du fait de la présence des groupes pyrrolidone.

Nous avions constaté précédemment que des copolymères de structure voisine, à savoir ceux d'acide vinylsulfonique et de N-vinylpyrrolidone [2], possédaient une forte activité anticoagulante sur le sang.

1. Les polyesters sulfuriques de copolymères d'alcool vinylique et de N-vinylpyrrolidone (III) ont été obtenus par saponification, suivie d'estérification par la chlorhydrine sulfurique, de copolymères d'acétate de vinyle et de N-vinylpyrrolidone (I), selon les réactions :

$$\underset{\text{(I)}}{-\underset{\substack{|\\ OCOCH_3}}{CH}-CH_2-\ldots-\underset{\substack{|\\ N\text{-pyrrolidone}}}{CH}-CH_2-} \xrightarrow{+NaOH} \underset{\text{(II)}}{-\underset{\substack{|\\ OH}}{CH}-CH_2-\ldots-\underset{\substack{|\\ N\text{-pyrrolidone}}}{CH}-CH_2-}$$

$$\xrightarrow{+SO_3HCl} \underset{\text{(III)}}{-\underset{\substack{|\\ OSO_3H}}{CH}-CH_2-\ldots-\underset{\substack{|\\ OH}}{CH}-CH_2-\ldots-\underset{\substack{|\\ N\text{-pyrrolidone}}}{CH}-CH_2-}$$

Seul l'emploi de perhydrol et d'ammoniaque comme catalyseurs, en opérant en vase clos, a fourni les copolymères (I) de haut poids moléculaire, avec de bons rendements. La saponification des groupes acétates de (I) doit être effectuée à froid, afin d'éviter la démixtion du copolymère (I) qui se produit dès la température de 40°.

Nous décrivons, à titre d'exemple, la préparation et quelques propriétés du sel de sodium d'un copolymère (III), composé de 52,7 mol % de sulfate de vinyle, 10,3 mol % d'alcool vinylique et 37 mol % de N-vinylpyrrolidone.

56 g (0,5 mol) de N-vinylpyrrolidone et 129 g (1,5 mol) d'acétate de vinyle sont copolymérisés, en présence de perhydrol (0,005 mol) et d'ammoniaque (0,007 mol), en ballon scellé, à 60°, pendant 4 jours; le copolymère (I) est précipité par l'éther : Rdt 104 g (soit 56 %) en (I) renfermant 63 mol % d'acétate de vinyle et 37 mol % de N-vinylpyrrolidone :

Calculé %, C 59,7; H 7,53; N 5,44; trouvé %, C 59,0; H 7,32; N 5,40.

Une solution de 95 g de (I) dans 500 ml de soude 2 N est abandonnée 3 jours, à l'ambiante (98 % de groupes acétates saponifiés), neutralisée par SO_4H_2, puis versée dans 2 l d'acétone : le gel de copolymère (II) obtenu est purifié par synérèse, et séché à 115° :

Calculé %, C 60,7; H 8,65; N 7,52; trouvé %, C 61,6; H 8,62; N 7,46.

20 g de (II) réduit en poudre sont traités par un mélange de 30 g de chlorhydrine sulfurique et de 120 ml de pyridine, pendant 3 h 30 mn, sur bain de vapeur; le gel, décanté, est redissous dans 40 ml d'eau, et reprécipité par l'acétone; après redissolution dans l'eau, alcalinisation par la soude et dialyse à 0°, on obtient 22,4 g du sel de sodium du copolymère (III) :

Calculé %, C 33,35; H 4,27; N 4,12; S 13,45; trouvé %, C 32,6; H 4,56; N 3,67; S 13,15.

Pour leur étude, les copolymères (I) et (II) ont également été purifiés par dialyse de leur solution aqueuse.

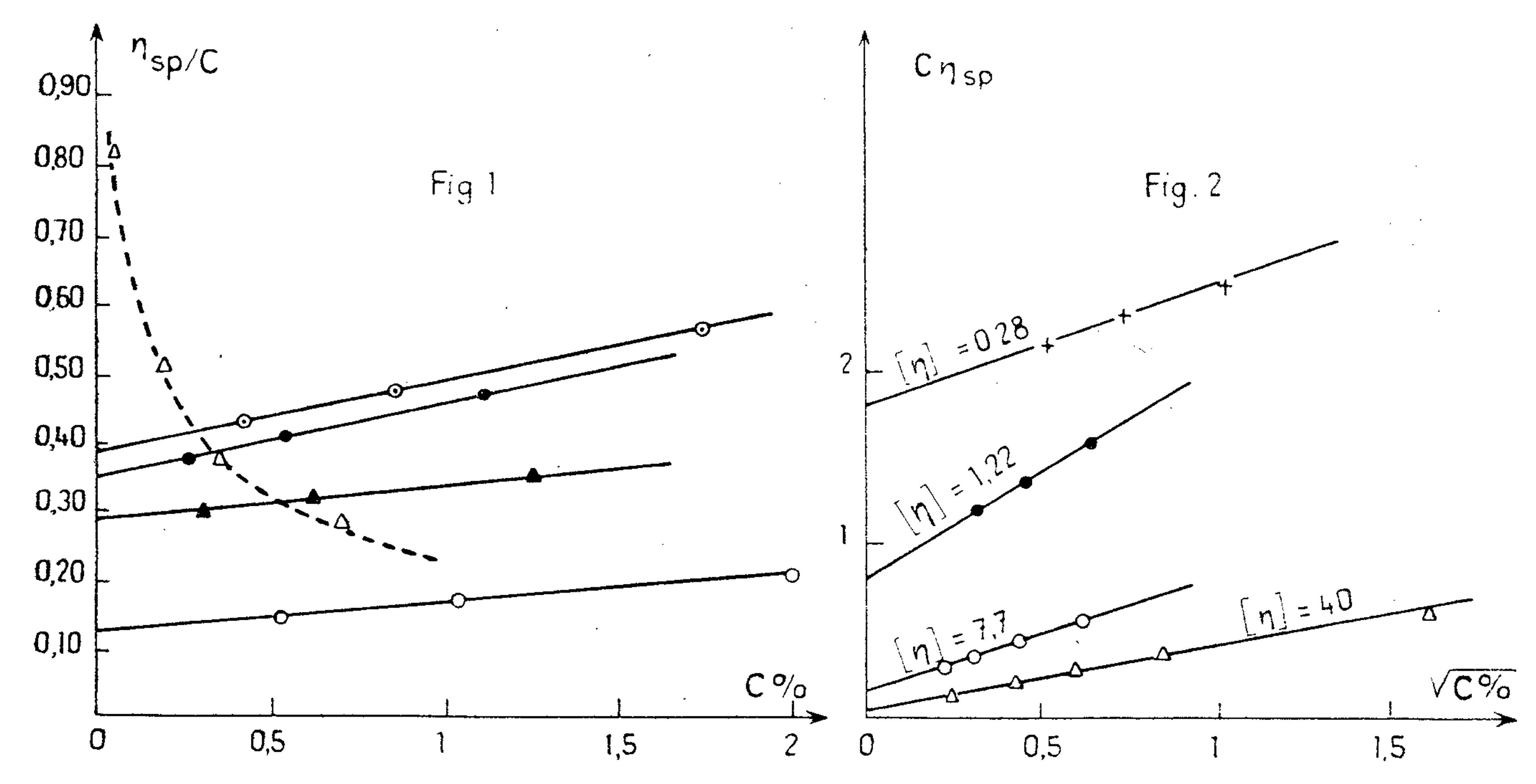


Fig. 1. — Viscosité réduite η_{sp}/C, en fonction de la concentration C % des solutions de co-polymères :

—○—	(I) dans l'eau, à 22° ;
—⊙—	(II) dans l'eau, à 25° ;
—●—	(II) dans NaCl 2M, à 25° ;
——△——	(III) dans l'eau, à 25° (ordonnées réduites 10 fois) ;
—▲—	(III) dans NaCl 2M, à 25°.

Fig. 2. — Inverse de la viscosité réduite C/η_{sp}, à 25°, en fonction de la racine carrée de la concentration $\sqrt{C\%}$ des solutions aqueuses de co-polymères :

—△—	(III);
—○—	(III) après hydrolyse par H Cl 6 N, à 100°, pendant 3 h 30 mn;
—●—	(III) après hydrolyse par H Cl 6 N, à 100°, pendant 16 h;
—+—	(II) après hydrolyse par H Cl 6 N, à 120°, pendant 16 h (ordonnées réduites deux fois).

2. La viscosité réduite, η_{sp}/C, des copolymères (I) et (II) dans l'eau, augmente linéairement avec leur concentration (*fig.* 1). Au contraire, l'augmentation, par dilution, de la viscosité réduite du copolymère (III) dans l'eau est caractéristique de sa nature de polyélectrolyte (*fig.* 1). La

figure 2 montre que la viscosité de (III) peut, dans ce cas, s'exprimer par la relation, précédemment rencontrée pour les polyélectrolytes :

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = \frac{1}{A + B\sqrt{C}}.$$

Alors que NaCl 2 M modifie peu la viscosité intrinsèque de (II) ($[\eta] = 0,385$ dans l'eau, et 0,355 dans Na Cl), cet électrolyte supprime, par contre, totalement l'effet électrovisqueux de (III) ($[\eta] = 40$ dans l'eau, et 0,29 dans Na Cl).

3. Les copolymères (III), sous forme de sels alcalins, sont stables pendant plusieurs mois en solution aqueuse. Ils subissent, au contraire, une hydrolyse rapide, en milieu fortement acide, à chaud. Ainsi, par traitement avec H Cl 6 N, pendant 3 h, à 100°, la teneur en soufre du copolymère (III) diminue de 13,15 à 0,7 %; on observe parallèlement une chute de la viscosité, bien que celle-ci puisse être encore exprimée par la relation (1), caractéristique des polyélectrolytes (*fig.* 2).

On ne peut pas toutefois conclure de ces observations que seuls les groupes ester sulfurique du copolymère (III) sont hydrolysés. En effet, le copolymère (II) non estérifié subit lui-même une transformation si on le soumet à l'action de H Cl 6 N à chaud (*fig.* 2) : cette transformation est telle que (II) « hydrolysé » acquiert les propriétés d'un polycation, et se combine, avec formation d'un précipité, aux colloïdes polyanioniques tels que (III) ou l'acide polyvinylsulfonique.

Il semble donc que les conditions nécessaires pour hydrolyser les groupes ester sulfurique des copolymères (III) provoquent en même temps une dégradation plus poussée de la molécule, et donnent naisance à des groupes aminés, vraisemblablement par ouverture des cycles pyrrolidone. Par suite, les copolymères (II) ou (III) hydrolysés possèdent des propriétés de polyampholyte, telles que leur pouvoir tampon aux ions H^+, ainsi que nous l'avons observé.

On peut remarquer que, contrairement à ses copolymères (II) et (III), la polyvinylpyrrolidone n'est pas hydrolysée dans ces conditions.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) F. Patat et K. Vogler, *Helv. Chim. Acta*, 35, 1952, p. 128.

(2) J. Bourdais, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2374.

(3) J. Bourdais, résultats non publiés.

(*Paris, Institut de Biologie physicochimique, Laboratoire des macromolécules.*)

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur la réaction d'ammoniolyse des chlorures de silicium* Si_nCl_{2n+2}. Note de M. **Michel Billy**, présentée par M. Paul Pascal.

La réaction d'ammoniolyse des chlorures de silicium Si_nCl_{2n+2} peut s'écrire :

$$Si_nCl_{2(n+1)} + 3(n+1)NH_3 \rightarrow Si_n(NH)_{n+1} + 2(n+1)NH_4Cl$$

Les composés azotés du silicium ainsi définis sont de hauts polymères et, vraisemblablement, des polyimides à réseau d'assemblages $[Si_n(NH)_{2(n+1)}]$.

Les réactions d'ammoniolyse des deux premiers chlorures de la série Si_nCl_{2n+2} sont bien connues [1]; elles conduisent à la formation des combinaisons azotées du silicium SiN_2H_2 et $Si_2N_3H_3$. Il n'existe, par contre, aucune donnée relative à l'action de l'ammoniac sur l'octochlorotrisilane Si_3Cl_8.

Des échantillons de ce chlorure, préparé à l'état pur ($É_{10,6}$ 89°, Cl=76,8 %) par chloruration du silicium à 150-170°, ont été soumis à l'action de l'ammoniac en utilisant la méthode déjà décrite lors de l'étude de l'ammoniolyse des deux premiers termes de la série [1]. La détermination volumétrique de l'ammoniac absorbé nous a donné les résultats suivants :

Si_3Cl_8 (mmol)	6,453	6,801
NH_3 (mmol)	78,77	80,86
NH_3/Si_3Cl_8	12,21	11,89

Le produit de la réaction correspond donc à la fixation de 12 mol d'ammoniac par molécule de chlorure Si_3Cl_8. L'analyse aux rayons X montre qu'il s'agit, en fait, d'un mélange de chlorure d'ammonium et d'un composé silicié que le procédé classique d'extraction par l'ammoniac liquide permet d'isoler. Nous avons ainsi extrait 51,37 mmoles de chlorure d'ammonium à partir de 6,453 mmoles Si_3Cl_8, ce qui correspond au rapport moléculaire

$$NH_4Cl/Si_3Cl_8 = 7,96 \neq 8.$$

L'action de l'ammoniac sur l'octochlorotrisilane s'écrit donc

$$Si_3Cl_8 + 12NH_3 \rightarrow 8NH_4Cl + Si_3N_4H_4.$$

L'expérience montre qu'il ne se forme pas de combinaisons azotées du silicium autres que $Si_3N_4H_4$. Ces résultats sont donc comparables à ceux de l'étude de l'ammoniolyse des chlorures $SiCl_4$ et Si_2Cl_6; l'analogie entre ces réactions est évidente. Nous pouvons les représenter par une même relation en faisant intervenir la formule générale des chlorures $Si_nCl_{2(n+1)}$:

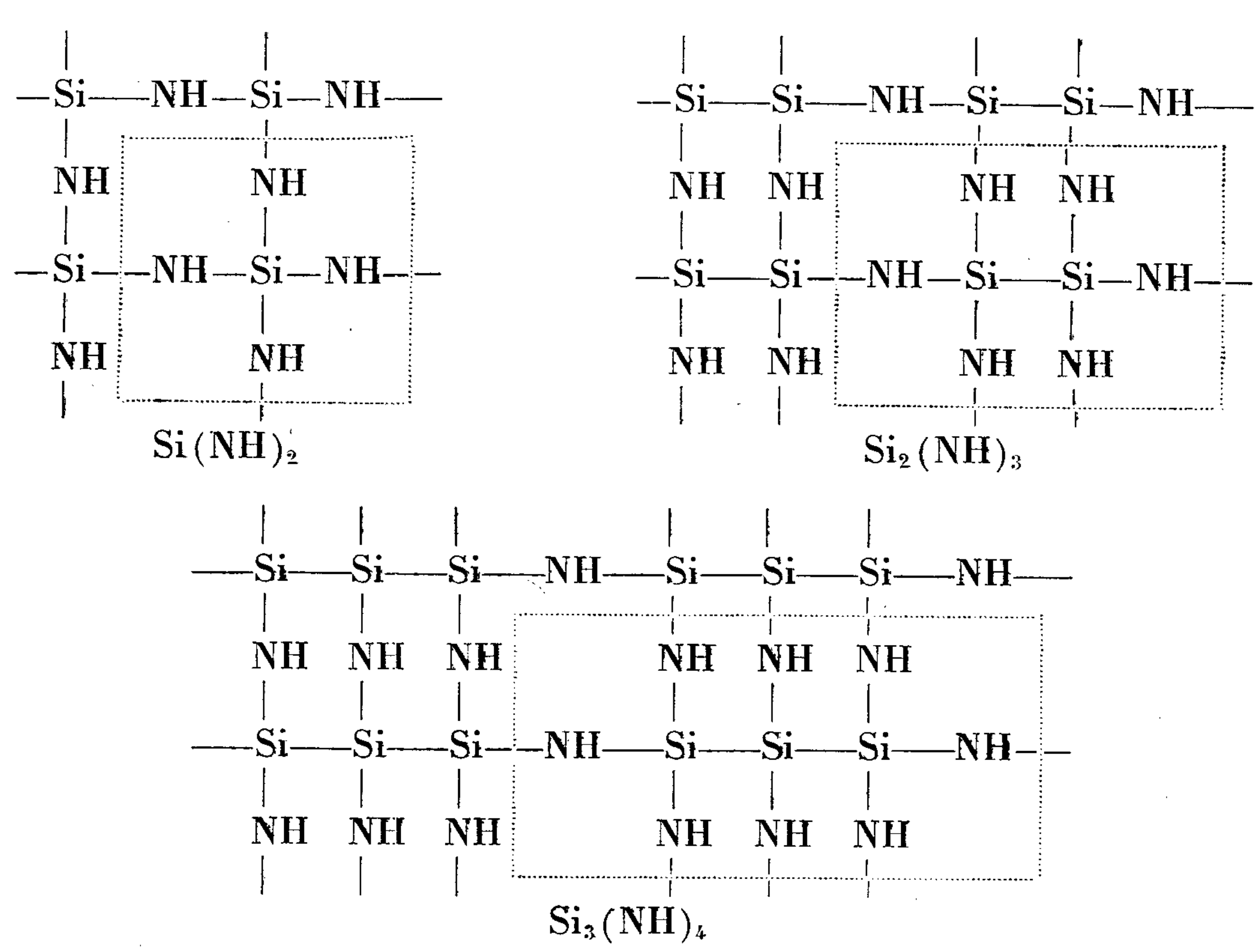
$$Si_nCl_{2(n+1)} + 3(n+1)NH_3 \rightarrow 2(n+1)NH_4Cl + Si_n(NH)_{n+1}.$$

Une telle expression permet de souligner les caractères essentiels de la réaction d'ammoniolyse des chlorures de silicium :

1° le chlore du chlorure initial se retrouve entièrement à l'état de chlorure d'ammonium;

2° la quantité d'ammoniac entré en réaction est liée au chlorure d'ammonium ainsi formé par un rapport moléculaire égal à 3/2.

Le silicium se trouve donc engagé dans une série de combinaisons azotées de formule $Si_n(NH)_{n+1}$ dont les termes ont des propriétés identiques. Ce sont des composés amorphes aux rayons X, stables sous vide à la température ordinaire et sensibles à la moindre trace d'humidité. L'eau les décompose avec formation de silice, d'ammoniac et dégagement d'une quantité d'hydrogène qui correspond à l'hydrolyse des liaisons Si—Si. Ils présentent également la propriété commune d'adsorber le gaz ammoniac, le phénomène étant d'autant plus marqué que le nombre n d'atomes de silicium de la molécule est plus grand. Ces composés se forment au cours de l'ammoniolyse des chlorures de silicium par l'intermédiaire de combinaisons chloroazotées qui, dans le cas de l'imide $Si(NH)_2$, ont pu être identifiées. Un tel mécanisme étant en relation avec une structure polyimide ([2]), nous pouvons représenter les trois premiers termes de la série par les formules développées suivantes où apparaissent les groupements primaires $Si(NH)_4$, $Si_2(NH)_6$ et $Si_3(NH)_8$, vraisemblablement à la base de la structure de ces polymères.



Nous reviendrons ultérieurement sur les analogies entre les propriétés de ces imides dont une des caractéristiques inédites est de conduire par thermolyse au même nitrure de silicium Si_3N_4, lequel se présente sous la forme α décrite par Glemser et ses collaborateurs ([3]).

(1) M. BILLY, *Ann. Chim.*, 4, 1959, p. 795; *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4163.
(2) M. BILLY, *Bull. Soc. Chim.*, 1960, p. 1651.
(3) O. GLEMSER, K. BELTZ et P. NAUMAN, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 291, 1957, p. 51.

(*Laboratoire de Chimie minérale, Institut Catholique, Paris.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèse de chromanones et chromones hétérocycliques. Étude polarographique de l'équilibre hydroxychalcone ⇌ chromanone.* Note (*) de MM. **André Corvaisier** et **Jean Tirouflet**, transmise par M. Marcel Delépine.

Synthèse de chromanones, chromones, hydroxy-3 chromones et hydroxy-3 chromanones dérivés d'aldéhydes hétérocycliques. Préparation des cétols intermédiaires. Application de l'analyse polarographique à l'étude de l'équilibre hydroxychalcone ⇌ chromanone.

Malgré l'intérêt naturel des chromanones et des chromones, les recherches physicochimiques relatives à la synthèse ou aux transformations réciproques de ces composés restent peu nombreuses. Les conditions optimales de la transformation *hydroxychalcone ⇌ chromanone* en particulier ne semblent pas avoir été nettement définies. L'analyse polarographique permet d'aborder facilement ce problème car ces composés sont électroactifs et la transformation peut ainsi être suivie dans des limites très larges de pH. Cette méthode analytique nous a déjà permis de trouver une interprétation raisonnable à différents résultats synthétiques.

Synthèse des chromanones et des chromones hétérocycliques. — La préparation des hydroxychalcones intermédiaires a été indiquée dans une précédente Note ([1]). La transformation hydroxychalcone ⇌ chromanone se fait au mieux en présence d'acétate de sodium. La quantité de chromanone obtenue à l'équilibre dépend en effet du pH et de la nature de l'aldéhyde condensée.

Outre les chromanones déjà signalées ([1]) nous avons isolé : [nitro-5′ thiényl-2′]-2 chromanone-4 ($C_{13}H_9NO_4S$), F 160°; [nitro-4′ thiényl-2′]-2 chromanone-4 ($C_{13}H_9NO_4S$), F 110°; [pyridyl-4′]-2 chromanone-4 ($C_{14}H_{11}NO_2$), F 94°; [pyridyl-3′]-2 chromanone-4 ($C_{14}H_{11}NO_2$), F 47°; [pyridyl-2′]-2 chromanone-4 ($C_{14}H_{11}NO_2$), F 68°.

Les hydroxychalcones utilisés dans la préparation de ces derniers produits ont été préparés récemment par Raut et Wender ([2]).

La déshydrogénation des chromanones-4 par PCl_5 en milieu benzénique ([3]) nous a permis d'obtenir deux chromones non encore signalées : [nitro-5′ pyrryl-2′]-2 chromone ($C_{13}H_8N_2O_4$), F 352°; [nitro-4′ pyrryl-2′]-2 chromone ($C_{13}H_8N_2O_4$), F 320°.

Quelques hydroxy-3 chromanones hétérocycliques ont pu être obtenues par action de l'eau oxygénée à froid en présence de soude à 8 % ([4]) sur les *o*-hydroxy [alcoyl]-3 acrylophénone correspondantes ([1]) : [thiényl-2′]-2 hydroxy-3 chromanone-4 ($C_{13}H_{10}O_3S$), F 168°; [furyl-2′]-2 hydroxy-3 chromanone-4 ($C_{13}H_{10}O_4$), F 148°.

Les hydroxy-3 chromones hétérocycliques sont préparées à partir des mêmes dérivés mais en utilisant soit une solution de soude plus concentrée (15 %) à froid ([5]), soit la potasse (5 %) à chaud ([6]) : [thiényl-2′]-2 hydroxy-3 chromone, F 200°; [lit. F 205° ([2])]; [furyl-2′] hydroxy-3 chro-

mone ($C_{13}H_8O_4$), F 171°; [pyrryl-2']-2 hydroxy-3 chromone ($C_{13}H_9O_3N$), F 206°; [nitro-4' pyrryl-2']-2 hydroxy-3 chromone ($C_{13}H_8N_2O_5$), F 315°; [nitro-5' pyrryl-2']-2 hydroxy-3 chromone ($C_{13}H_8N_2O_5$), F 317°.

Nous avions déjà indiqué (1) d'autre part, que l'utilisation du méthylate de sodium dans la condensation de l'*o*-hydroxyacétophénone et de quelques aldéhydes semblait favorable à l'isolement du cétol intermédiaire. Cette méthode apparaît générale et nous a permis d'isoler plusieurs cétols du même type :

				F (°C).
[*o*-hydroxyphényl]-1 [thiényl-2']-3	propanone-1	ol-3	$C_{13}H_{12}O_3S$	116
[*o*-hydroxyphényl]-1 [nitro-4' thiényl-2']-3	»	»	$C_{13}H_{11}NO_5S$	120
[*o*-hydroxyphényl]-1 [pyridyl-2']-3	»	»	$C_{14}H_{13}NO_3$	110
[*o*-hydroxyphényl]-1 [pyridyl-4']	»	»	$C_{14}H_{13}NO_3$	152
[Pyrryl-2']-1 [nitro-4'' thiényl-2'']-3	»	»	$C_{11}H_{10}N_2O_4S$	120
[Thiényl-2']-1 [nitro-5'' thiényl-2'']-3	»	»	$C_{11}H_9NO_4S_2$	140

L'identification de ces différents composés a été complétée par spectroscopie infrarouge et polarographie. Ces composés sont en particulier suffisamment stables en solution pour permettre le relevé d'un polarogramme. La vague observée présente une morphologie compatible avec la structure cétol.

Étude polarographique de l'équilibre o-hydroxychalcone ⇌ chromanone. — La cinétique a été suivie dans les deux sens de la réaction. Le milieu réactionnel est constitué par le mélange d'une solution tampon variable et d'une solution d'hydroxychalcone ou de chromanone chauffé à 80°. L'analyse polarographique est effectuée sur des prises d'essais en utilisant la première vague de l'*o*-hydroxychalcone (pH 1,99). Cette vague se situe en effet toujours avant celle de la chromanone correspondante. L'analyse polarographique montre que :

1. Le pourcentage d'*o*-hydroxychalcone à l'équilibre est sensiblement indépendant du pH entre pH 5 et 9. Au-delà de pH 9 l'équilibre est nettement déplacé en faveur de la chalcone, mais on observe corrélativement une décomposition immédiate de ce composé. Le déplacement de l'équilibre est vraisemblablement relié à la stabilité relative des ions qui se forment respectivement à partir des deux constituants ($c = 10^{-2}$ M, alcool 50 %).

2. Les vitesses de cyclisation ou d'ouverture augmentent avec le pH jusqu'à pH 8. Au-delà de pH 8 les vitesses continuent à augmenter mais on observe les réactions consécutives d'hydrolyse.

3. Les pourcentages à l'équilibre dépendent essentiellement de la structure des composés étudiés.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) J. Tirouflet et A. Corvaisier, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1276.
(2) K. B. Raut et S. H. Wender, *J. Org. Chem.*, 1960, p. 50.
(3) A. Loweinbein, *Ber.*, 57, 1924, p. 1515.
(4) M. Murakami et T. Irie, *Proc. Imp. Acad. Tokyo*, 11, 1935, p. 229.
(5) T. Oyamada, *J. Chem. Soc. Japan*, 55, 1934, p. 1256.
(6) J. Algar et J. P. Flynn, *Proc. Roy. Irish. Acad.*, B, 42, 1934, p. 1.

(*Faculté des Sciences, Dijon.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'isomérisation cis-trans au cours de l'autoxydation de l'acide oléique.* Note de M. **Maurice Loury**, présentée par M. Georges Champetier.

On sait, surtout à la suite des travaux de Farmer et de ses collaborateurs ([1]), qu'au cours de l'autoxydation des acides gras insaturés et en particulier de l'acide oléique, une partie de l'oxygène est fixée par les atomes de carbone voisins de la double liaison par l'intermédiaire de radicaux libres et suivant un processus bien connu qui aboutit à la formation d'hydroperoxydes. L'apparition de formes mésomères de l'acide oléique donne la possibilité de l'existence de quatre isomères d'hydroperoxydes de l'acide oléique qui ont été effectivement caractérisés :

$$CH_3-(CH_2)_7-\overset{(10)}{CH}=\overset{(9)}{CH}-(CH_2)_7-CO_2H + O_2 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} -\overset{(11)}{CH}(OOH)-CH=CH- \\ -CH=CH-\overset{(8)}{CH}(OOH)- \\ -\overset{(10)}{CH}(OOH)-CH=CH- \\ -CH=CH-\overset{(9)}{CH}(OOH)- \end{array} \right.$$

On sait également qu'une autre partie de l'oxygène se fixe directement sur la double liaison sans toutefois qu'on ait pu préciser la nature de l'enchaînement qui en résulte, la plupart des auteurs admettant la forme épidioxyde (I), d'autres la forme épiperoxyde de Paquot (II)

$$\underset{(I)}{\begin{array}{c} -CH-CH- \\ |\quad\; | \\ O-O \end{array}} \qquad \underset{(II)}{\begin{array}{c} -CH-CH- \\ \diagdown\;\diagup \\ O \\ \| \\ O \end{array}}$$

On admet, d'autre part, à la suite des travaux de Swern et de ses collaborateurs ([2]), que l'autoxydation est accompagnée d'une isomérisation cis-trans mise en évidence par, outre le spectre infrarouge, la formation ultime et la caractérisation d'acide dihydroxystéarique par la suite des réactions :

$$\text{acide oléïque} \xrightarrow[\text{isomérisation}]{\text{autoxydation}} \text{acide élaïdique} \xrightarrow{\text{époxydation}} \text{acide trans 9.10-époxystéarique}$$
$$\xrightarrow{\text{hydrolyse}} \text{acide 9.10-dihydroxystéarique F 130°.}$$

Nous avons soumis de l'acide oléique à une oxydation intense à 100° à l'état dispersé. A cet effet, après avoir imprégné une laine de verre

cardée qui constitue un support inerte non absorbant, on fait passer à travers la masse un courant d'air chaud jusqu'à obtenir un produit pratiquement insoluble dans l'éther de pétrole. La masse est ensuite extraite à l'acétone qui dissout les produits d'oxydation formés. Ce solvant chassé, on reprend par un excès d'éther de pétrole qui élimine la fraction des acides non oxydés. Le produit visqueux résultant (70 à 85 % de l'acide oléique mis en œuvre) est alors traité à chaud par une solution de potasse jusqu'à complète dissolution. On acidifie ensuite pour libérer les acides gras qui sont repris par le chloroforme. Les cristaux blancs qui apparaissent immédiatement sont filtrés et recristallisés dans l'alcool. Ils présentent un point de fusion de 130° et correspondent à l'acide dihydroxystéarique dérivé de l'acide élaïdique (Hilditch) ([3]). La solution chloroformique abandonnée un certain temps en glacière à + 5° laisse déposer une nouvelle récolte cristalline. Ces cristaux blancs purifiés dans l'alcool présentent un point de fusion de 95° et correspondent à l'acide dihydroxystéarique dérivé de l'acide oléique (Skellon) ([4]).

Il faut alors en déduire que contrairement à ce qui a été admis jusqu'ici l'isomérisation cis-trans au cours de l'autoxydation n'est pas totale et correspond peut-être à l'équilibre défini par d'autres réactifs isomérisants ([5]).

S'il en est ainsi, cet équilibre doit se retrouver chez les hydroperoxydes dont les seuls isomères trans sont décelables par la bande caractéristique de 10, 33 μ dans le spectre infrarouge et qui, par conséquent, en plus d'isomères de position doivent présenter les isomères géométriques. On serait alors en présence d'au moins 10 isomères pour le seul acide oléique autoxydé, ce qui donne une idée de la complexité des produits formés par autoxydation des corps gras à l'air tels qu'ils résultent du rancissement des corps gras, du soufflage des huiles et des mélanges qu'on désigne en savonnerie sous le nom d' « acides oxydés ».

([1]) E. H. Farmer, *Trans. Faraday Soc.*, 38, 1942, p. 340 et 356; 42, 1946, p. 228; E. H. Farmer et D. A. Sutton, *J. Chem. Soc.*, 1943, p. 119 et 122; E. H. Farmer, H. D. Koch et D. A. Sutton, *J. Chem. Soc.*, 1943, p. 541.

([2]) H. B. Knight, C. R. Eddy et D. Swern, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 18, 1951, p. 188.

([3]) Hilditch, *J. Chem. Soc.*, 1926, p. 1828.

([4]) Skellon, *J. Soc. Chem. Ind.*, 50, 1931, p. 382 T.

([5]) Griffiths et Hilditch, *J. Chem. Soc.*, 1932, p. 2315.

(Institut d'Études et de Recherches sur les Corps gras, 5, boulevard de Latour-Maubourg, Paris, 7e.)

PHYSIQUE ATMOSPHÉRIQUE. — *Sur la radioactivité d'origine atomique de l'air et des précipitations.* Note (*) de M. **Hubert Garrigue**, transmise par M. Auguste Rousset.

La radioactivité artificielle de l'air et surtout des précipitations est encore loin d'être négligeable.

On procède, comme précédemment, à la mesure de la radioactivité d'origine atomique des résidus des précipitations atmosphériques, ainsi que de l'air libre.

Pour les précipitations, on mesure mensuellement la radioactivité β de surface, en un même point d'écoulement au sol des précipitations recueillies par un toit, au sommet du Puy de Dôme (altitude 1450 m). La surface d'écoulement est constituée par de la terre vierge de même origine, renouvelée après chaque mesure mensuelle. Les valeurs trouvées représentent à peu près — et à un facteur près — la radioactivité β de la surface du sol dans les conditions naturelles. Les mesures sont généralement effectuées au moyen d'intégrateurs et de compteurs à fenêtre mince (tableau I).

On a suivi la diminution de radioactivité d'un échantillon de la surface du sol prélevé (au même point d'écoulement) en juillet 1959. La première période apparente est de l'ordre de 15 mois tandis que la radioactivité de surface, comme le montre le tableau I, décroît de moitié en quelques mois, avec quelques perturbations.

Tableau I.

Radioactivité β de période > 6 mois, de surface d'écoulement des précipitations.

Valeurs relatives en impulsions par minute sur compteur à fenêtre mince.

	Janv.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1959.......	–	–	–	–	400	400	450	550	350	450	350	220
1960.......	130	000	30	50	100	50	30	30	–	–	–	–

La mesure des résidus d'évaporation des précipitations, au cours de l'hiver et du printemps 1960, a donné des valeurs de radioactivité β, de période supérieure à 6 mois, de l'ordre de grandeur de celle trouvée pour la première neige radioactive décelée au sommet du Puy de Dôme, le 20 novembre 1951. Cette valeur, pour le résidu d'évaporation de 7 kg de neige, représentait 43 % du fond cosmique et terrestre local dans la chambre d'ionisation de mesure, mais la période était de 10 jours seulement ([1]).

Parmi les perturbations observées — en dehors de l'effet saisonnier — on décèle le 7 novembre 1960 du givre exceptionnellement radioactif. La première période apparente de l'activité du résidu d'évaporation de 1 kg de givre est de 10 à 15 h, avec une intensité de début correspondant

— selon la même échelle que le tableau I — à 200 impulsions/mn. La seconde période apparente est de 13 jours, avec une intensité de début de 100 impulsions/mn. Le résidu, noirâtre et goudronneux, est abondant et pourvu de l'odeur *sui generis* propre à tous les résidus recueillis depuis 15 ans, dans des conditions analogues, au sommet du Puy de Dôme.

Pour l'étude de l'air libre, on procède principalement en vol, à bord d'un avion-laboratoire, à la vitesse d'opération de 100 km/h (avion type NC.-859, appartenant au S.F.A.T.A.T.). Au cours des vols de prospection, on a effectué de nombreuses observations. De plus, deux opérations de longue durée ont permis le ramassage, à très basse altitude au-dessus du sol et du relief survolés, et l'accumulation des particules en suspension dans l'air libre, sur une grille métallique enduite d'un adhésif siliconé, placé frontalement dans le vent relatif à l'extérieur de l'aéronef. Cette grille métallique a la forme d'un disque de 11 cm de diamètre. Les mesures de sa radioactivité sont donc effectuées sur bêtamètre à chambre d'ionisation à grande fenêtre mince.

La première des deux opérations porte sur 25 h de vol réparties de juillet 1959 à décembre 1959; la seconde, sur 40 h de vol, réparties de février 1960 à juillet 1960 (tableau II).

TABLEAU II.

Radioactivité β *de période* > 6 *mois, de grille adhésive exposée en vol.*

Valeurs exprimées en pourcentage du fond cosmique et terrestre local sur bêtamètre à chambre d'ionisation.

1.	Durée des vols	25 h	réparties de	juillet à décembre 1959	....	50 %
2.	»	» 40 h	»	février à juillet 1960	....	5 à 3 %

La radioactivité de l'air libre, estimée d'après ces résultats, décroît plus rapidement que la radioactivité de surface du sol. Cela tient à ce que les précipitations — particulièrement de longue durée au sommet du Puy de Dôme et comprenant le brouillard lourd, la pluie, le givre et la neige — jouent un grand rôle dans l'apport au sol de la radioactivité artificielle provenant de la « réserve stratosphérique ».

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 1447.

ALGOLOGIE. — *Sur la reproduction du* Gymnogongrus norvegicus *(Gunner) J. Agardh dans la Manche et les cycles reproducteurs des Phyllophoracées (Algues Rouges).* Note (*) de M. **Georges Schotter**, présentée par M. Lucien Plantefol.

L'auteur confirme, pour les *G. norvegicus* à némathécies de la Manche, l'existence d'un mode reproducteur analogue à celui de leurs homologues méditerranéens. Considérées jusqu'ici comme de simples tétrasporophytes, ces Algues sont, en réalité, des gamétophytes porteurs de tétrasporophytes réduits et parasites que l'auteur propose de désigner, non plus par le terme de némathécie, mais par celui de tétrasporocarpe. En même temps, est mise en évidence l'existence de plusieurs types de cycles reproducteurs dans la famille des Phyllophoracées à laquelle appartient le genre *Gymnogongrus*.

Nous avons, dans une Note précédente ([1]), relaté la manière dont il fallait interpréter le cas, jugé jusqu'ici anormal, du *Gymnogongrus norvegicus* (Gun.) J. Ag. en Méditerranée. Nous avons pu établir en effet que les individus méditerranéens qui paraissaient de simples tétrasporophytes, étaient en réalité des gamétophytes porteurs de tétrasporophytes. Du même coup se trouvait dévoilée la raison pour laquelle on ne rencontre en Méditerranée que la forme à némathécies du *G. norvegicus*.

Cette découverte nous donnait alors à penser que des faits identiques pouvaient se retrouver dans la Manche et l'océan Atlantique, où le *G. norvegicus* se présente sous les deux formes (individus à cystocarpes et individus à némathécies), et, où, de ce fait, son cycle reproducteur semble être celui d'une Rhodophycée diplobionte normale. C'est ainsi qu'en nous basant sur la seule analogie de structure des némathécies, nous avions été amené, à formuler, pour les tétrasporophytes de la Manche, l'hypothèse d'une reproduction identique à celle de leurs homologues méditerranéens, et à admettre l'existence simultanée non plus d'une, mais d'au moins deux espèces.

Cette hypothèse vient de recevoir confirmation à la suite de recherches poursuivies à la Station biologique de Roscoff. Nous avons en effet retrouvé et constaté l'existence de procarpes et de spermatocystes sur les différents pieds de *G. norvegicus* à némathécies que nous avons examinés.

La confirmation de cette hypothèse nous permet ainsi des conclusions que, faute de ces données complémentaires, il eût été imprudent de tirer lors de la rédaction de notre première Note. Ces conclusions concernent à la fois le genre *Gymnogongrus* et la famille des Phyllophoracées à laquelle ce genre se rattache.

Tout d'abord, l'espèce *G. norvegicus* ne peut plus être admise dans le sens où elle l'était jusqu'ici. Sous ce vocable, se cache en réalité un complexe d'espèces qui doivent maintenant être séparées. Sans vouloir entrer dans les détails, il existe à notre avis, dans la Manche et dans l'Atlantique, probablement trois sinon quatre espèces, distinctes anatomiquement et

morphologiquement, et désignées jusqu'à ce jour par le binome *Gymnogongrus norvegicus* (Gun.) J. Ag. Les individus méditerranéens se rattacheraient à l'une de ces espèces qui, par ailleurs, constituent des couples du type de ceux que nous connaissons déjà, à savoir deux espèces très voisines morphologiquement, mais se distinguant par la nature des spores (carpospores ou tétraspores) produites par la génération parasite issue du zygote.

Autre fait qui s'impose : l'existence dans la famille des Phyllophoracées de plusieurs types de cycles reproducteurs, qui montrent que les représentants de cette famille sont déjà bien évolués. Nous y trouvons en effet :

1. Le cycle trigénétique et diplohaplophasique de la plupart des Floridées, qui est celui de diverses espèces comme *Phyllophora membranifolia* (G. et W.) J. Ag. ou *Stenogramme interrupta* Mont. A ce type de cycle est associé, chez les tétrasporophytes, un type de némathécie qui correspond à ce que nous considérons comme une vraie némathécie : celle-ci est constituée par des files parallèles de tétrasporocystes, issues des cellules corticales et par conséquent d'origine exogène.

2. Des cycles digénétiques diplohaplophasiques qui dérivent probablement de cycles normaux trigénétiques par disparition d'une génération. Ces cycles digénétiques qui semblent être l'apanage du genre *Gymnogongrus*, caractérisent les espèces de ce genre formant les couples dont nous avons parlé plus haut. Ils sont de deux types :

a. Cycle digénétique à gamétophyte et carposporophyte : ce sont les cas du *G. linearis* (Turn.) J. Ag., du *G. pusillus* (Mont.) J. Feldm. et G. Mazoyer et des *G. norvegicus* (Gun.) J. Ag. à cystocarpes. Ce type de cycle, dans l'état actuel de nos connaissances, pose un problème. Si l'on admet, comme cela est vraisemblable, que la fécondation précède le développement du carposporophyte, il reste à déterminer la place de la méiose, étant donné, par ailleurs, qu'il n'existe pas ou qu'il n'existe plus, pour ces espèces, de tétrasporophyte connu. Nous retrouvons là un problème identique à celui que posent nombre de Floridées dont seuls sont connus les gamétophytes et les carposporophytes;

b. Cycle digénétique à gamétophyte et tétrasporophyte réduit parasite : ce sont les cas du *Phyllophora Brodiæi* (Turn.) Ag., du *Gymnogongrus platyphyllus* Gardn., du *G. Griffithsiæ* (Turn.) Mart. et des *G. norvegicus* (Gun.) J. Ag. à némathécies. A ce type de cycle est associé un type de némathécie, d'origine endogène, qui ne correspond pas à une vraie némathécie et qui représente en réalité un individu réduit et parasite, dont l'anatomie diffère considérablement de celle d'une vraie némathécie. C'est pourquoi le terme de némathécie ne doit plus être employé pour désigner ces tétrasporophytes naissant directement de la fécondation d'un carpogone. Nous proposons d'y substituer celui de tétrasporocarpe.

Nous remarquerons que ce type de cycle est encore intéressant à un autre point de vue : il nous permet de retrouver chez les Floridées un cycle analogue à celui des Hépatiques ou des Mousses chez les Bryophytes.

3. Un type de cycle digénétique de nature cytologique incertaine, mais vraisemblablement haplophasique, apogamique et apoméiotique : celui de l'*Ahnfeltia plicata* (Huds.) Fries. Ce cas est, pourrait-on dire, désespéré : étant donnée l'extrême petitesse des noyaux de cette algue, il est douteux qu'on puisse arriver à le résoudre cytologiquement.

Tout ce qui précède, mériterait évidemment d'être développé et détaillé; nous réserverons ces développements et ces détails pour un travail ultérieur. Nous voudrions seulement, en terminant, attirer encore une fois l'attention sur l'intérêt exceptionnel que présente cette famille des Phyllophoracées qui, si elle ne renferme qu'un petit nombre de genres, possède en contrepartie un grand nombre de cycles reproducteurs différents dont l'étude peut être des plus fructueuses pour la compréhension d'autres groupes de Floridées.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) G. SCHOTTER, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1174.

(Laboratoire de Botanique, Faculté des Sciences d'Alger et Station biologique de Roscoff.)

ALGOLOGIE. — *Sur la multiplication végétative de* Zonaria tournefortii *(Lamour.) Montagne.* Note (*) de Mme **Jeanne Gaillard**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Zonaria tournefortii, conservé au laboratoire à une température constante, a montré pendant l'hiver une multiplication végétative s'effectuant grâce à des filaments et à des bourgeons issus des cellules initiales marginales.

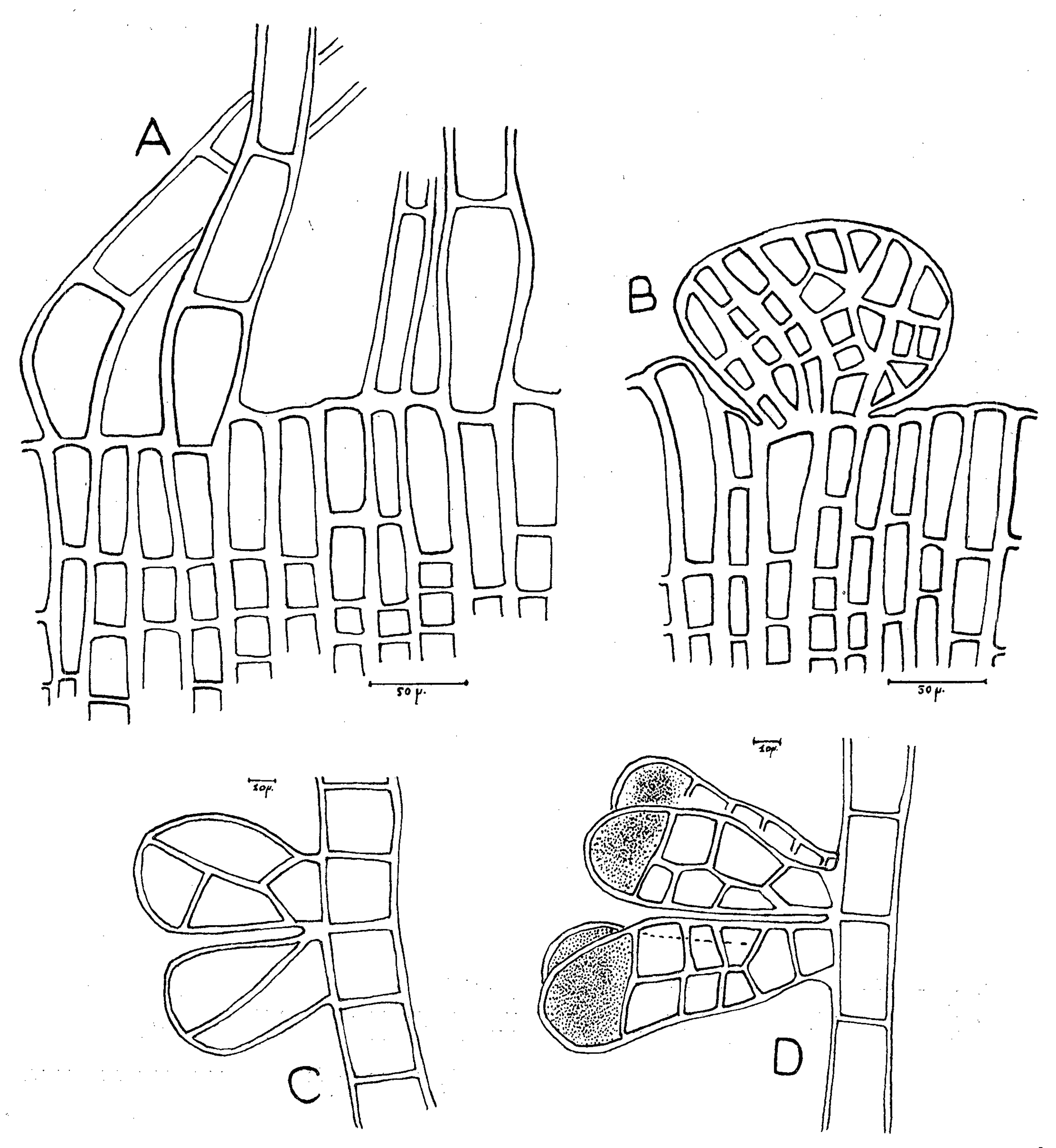
Les Dictyotales (Phéophycées) sont caractérisées par une reproduction oogame et un cycle digénétique et isomorphe. Le cycle normal est souvent remplacé par une multiplication végétative qui peut s'effectuer de différentes manières : soit à partir de cellules mères de tétraspores, comme J. Feldmann (1) l'a montré chez *Dilophus fasciola*, soit à partir de cellules végétatives. Ainsi, Sauvageau (2) a décrit chez *Zonaria tournefortii* un procédé qui permet à l'Algue de survivre : il s'agit d'un système de rhizoïdes produits par la fronde jeune, rhizoïdes qui, en s'enchevêtrant, deviennent un axe rhizoïdien sur lequel poussent de nouvelles frondes, tandis que les parties foliacées âgées disparaissent. P. Gayral (3) a récemment signalé un mode de régénération chez *Spatoglossum solierii*; dans ce cas, les cellules du thalle donnent naissance à des filaments rhizoïdaux porteurs de jeunes lames ressemblant à des plantules.

Lors d'une étude de *Zonaria tournefortii*, il a été possible d'assister à une multiplication végétative d'un type assez différent de celui décrit précédemment par Sauvageau. En effet, les parties foliacées n'ont pas disparu et c'est à partir de celles-ci que le bourgeonnement a eu lieu.

Les exemplaires de *Zonaria* étudiés ont été récoltés au mois de septembre dans le golfe de Naples. Ils ont été conservés ensuite à Paris dans de la solution nutritive de Schreiber additionnée d'extrait de terre, renouvelée fréquemment. Placés dans une pièce à température constante de 12° et éclairés artificiellement pendant 12 h sur 24, ils ont vécu ainsi pendant plusieurs mois.

Vers la fin du mois d'octobre, quelques filaments brunâtres apparaissent sur les bords de la fronde. Ces filaments prennent naissance à partir des cellules du bord du thalle; la membrane externe de la fronde se poursuit d'ailleurs sur les filaments (*fig.* 1, A). Le bord du thalle a un aspect très particulier et très différent de celui du bord normal. Les initiales ont une couleur notablement plus brune, due à une grande accumulation de physodes; de plus, les cellules terminales de deux files voisines s'écartent l'une de l'autre; le bord prend ainsi une allure festonnée qui précède l'apparition des filaments. Ce phénomène n'est pas général pour l'ensemble de la zone marginale, mais il concerne toujours des portions importantes de ce bord. Les filaments sont formés d'une file de cellules rectangulaires;

celles-ci sont pourvues de plastes; le noyau, légèrement ovalaire, occupe le centre de la cellule; les physodes, bien visibles après coloration vitale au bleu de crésyle ou au rouge neutre, sont répartis en deux groupes de part



Zonaria tournefortii. A, bord du thalle avec filaments; B, bourgeon issu directement de la zone marginale; C, jeunes bourgeons issus d'un filament; D, jeunes bourgeons.

et d'autre du noyau. La cellule ne contient ni corps irisants ni inclusions réfringentes, alors que celles du thalle en possèdent.

La présence de plastes dans la cellule de ces filaments ne permet pas de les comparer à des rhizoïdes ou à des poils de Phéophycées; le mode de croissance terminal les éloigne également des filaments marginaux de

Cutlériales avec lesquels cependant ils auraient le plus d'analogie. Ces filaments ont une destinée très particulière; en effet, certaines de leurs cellules vont donner naissance à des bourgeons. Une cellule du filament se divise d'abord en deux; puis, chacune prolifère latéralement une cellule; celle-ci se divise ensuite obliquement; une seconde division limite vers la base une cellule grossièrement triangulaire servant de lien entre le filament et le bourgeon (*fig.* 1, C). Les cloisonnements suivants se feront soit parallèlement au filament soit perpendiculairement (*fig.* 1, D). Le bourgeon se détache alors du filament et le jeune thalle, ainsi formé, mène une vie propre pouvant à son tour donner naissance à des filaments.

La cellule du bourgeon rappelle celle de la plante adulte par sa forme sub-carrée et par la dispersion dans le cytoplasme des physodes colorables par les colorants vitaux. Cependant, elle ne possède les corps irisants et les inclusions réfringentes typiques de *Zonaria tournefortii* que lorsque le bourgeon a atteint une grande taille et qu'il a pris la forme d'un jeune thalle.

Toutes les initiales ne forment pas de filaments, ceux-ci sont répartis en paquets et certaines initiales donnent naissance directement à des bourgeons analogues à ceux décrits précédemment, sans qu'il y ait formation de filaments intermédiaires. Très souvent encore, deux cellules marginales bourgeonnent simultanément et les cellules issues des différents cloisonnements s'organisent en bourgeons qui sont recouverts par la membrane externe (*fig.* 1, B). Parfois, plus de deux cellules interviennent dans la formation du bourgeon, trois, quatre, voire cinq cellules voisines font simultanément leurs divisions.

Un tel mode de multiplication végétative ne paraît pas avoir été décrit antérieurement chez les *Zonaria*; il pourrait être rapproché de la multiplication par propagules observée chez les *Sphacelaria*.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) J. FELDMANN, *Rev. algol.*, 9, 1937, p. 243-325.

(2) C. SAUVAGEAU, *Bull. Stat. Biol. Arcachon*, 8, 1905, p. 66-81.

(3) P. GAYRAL, *Proceed. IX inter. bot. Congr. Montréal.*, II A, 1959, p. 13.

(*Laboratoire de Biologie végétale marine.*)

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Sur la structure d'un glucoside d'aromadendrine extrait de l'aubier de* Prunus Mahaleb *et de* Prunus Persica vulgaris. Note (*) de M. **Henri Pacheco**, présentée par M. Marcel Delépine.

Il s'agit de la β-D-glucopyranosyloxy-7 trihydroxy-3.5.4′ flavanone (II).

Dans deux Notes précédentes ([1]), ([2]), nous avons signalé la présence, dans l'aubier de différents *Prunus*, de deux glucosides de flavanonols, dont l'un dérive de l'aromadendrine (tétrahydroxy-3.5.7.4′ flavanone); puis, nous avons indiqué le mode d'extraction et de purification qui comporte une chromatographie sur poudre de cellulose, avec l'eau comme solvant d'entraînement.

Les fractions qui contiennent les deux glucosides de flavanonols ([2]) sont rassemblées, l'eau est évaporée sous vide; le résidu sec est épuisé deux fois avec 100 ml de méthanol bouillant qui dissout les glucosides. Le méthanol éliminé, il reste environ 5 g de produit constitué par un mélange de glucosides d'aromadendrine et de taxifoline; comme tous les procédés de fractionnement mis en œuvre n'ont pas encore permis d'isoler chacun d'eux à l'état pur, le mélange (5 g) a été oxydé en glucosides de flavonols par un procédé doux : dissolution dans 150 ml d'une solution de bisulfite de sodium à 15 %, ébullition 3 h. Après refroidissement, le précipité jaune qui s'est formé est essoré. C'est un mélange de glucosides de kaempférol (tétrahydroxy-3.5.7.4′ flavone) et de quercétine (pentahydroxy-3.5.7.3′.4′ flavone), impossibles à séparer par cristallisation fractionnée mais séparables par chromatographie sur papier. Sur une feuille de papier Whatmann n° 1 (40 × 45 cm), on dépose, sous forme d'un trait, 2 ml d'une solution méthanolique contenant 15 mg du mélange. Le solvant d'entraînement est le système butanol/AcOH/H_2O.

L'examen aux rayons ultraviolets montre deux zones fluorescentes en jaune; celle dont le R_f est 0,5 correspond au glucoside de kaempférol. L'élution est effectuée par 100 ml d'alcool bouillant à 50 %. Le solvant évaporé, le résidu est cristallisé deux fois dans le minimum d'acide acétique à 30 %, puis dans un mélange eau-pyridine (90-10). Rdt : 150 mg/1 kg d'aubier de P. Mahaleb.

Glucose-O— [structure] —OH (I)

Glucose-O— [structure, CO, OH] —OH (II)

Glucose-O— [structure, CO, OH] —OH (III)

Ce produit, séché 36 h sur P_2O_5, sous un vide de 0,2 mm Hg, à 110°, se présente sous forme de cristaux jaunes F 280°.

L'hydrolyse chlorhydrique (ClH à 5 %, ébullition 3 h) libère D-glucose et kaempférol, identifiés par chromatographie sur papier. L'analyse élémentaire s'accorde avec la formule brute : $C_{21}H_{20}O_{11}$ (calculé %, C 56,25; H 4,46; trouvé %, C 56,24; H 4,60) et correspond au rapport : 1 glucose/1 kaempférol.

L'analyse élémentaire du dérivé acétylé (F 240-242°, acétylation dans anhydride acétique bouillant en présence d'acétate de sodium fondu) confirme ce rapport : $C_{35}H_{34}O_{18}$, calculé %, C 56,60; H 4,58; trouvé %, C 56,71; H 4,56.

La position du reste glucose a été déterminée en comparant ce glucoside de kaempférol au glucoside-7-kaempférol (III) que nous avons récemment préparé à partir de la prunine (I) ([3]).

Ces deux glucosides de flavonols ont même spectre ultraviolet [trois maximums à 265-325 et 367 mμ (alcool)] et même R_f dans différents solvants. Leurs dérivés acétylés sont identiques : même spectre ultraviolet [deux maximums à 250 et 300 mμ (alcool); point de fusion mélangée non abaissé, spectres infrarouge (KBr) superposables].

Puisque l'oxydation par le bisulfite, du glucoside d'aromadendrine extrait de l'aubier de *P. Mahaleb* et *P. Persica vulgaris*, conduit au glucoside-7 kaempférol (III), il faut conclure que le glucoside de flavanonol est la β-D-glucopyranosyloxy-7 trihydroxy-3.5.4′ flavanone (II) ([4]).

Actuellement, nous essayons d'isoler ce glucoside à l'état pur par la méthode des contre-courants, de faire sa synthèse et celle du glucoside-7 kaempférol.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

([1]) H. Pacheco, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2636.

([2]) H. Pacheco, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1106.

([3]) H. Pacheco, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1077.

([4]) Harborne a isolé le même composé de *Primula Sinensis*. Publication en cours (Communication privée).

CYTOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Différenciation sexuelle et gamétogenèse abortive chez un mâle haploïde d'Urodèle* (Pleurodeles waltlii), *élevé en parabiose.* Note de MM. **Louis Gallien** et **Jean-Claude Beetschen**, présentée par M. Robert Courrier.

Un mâle haploïde d'Amphibien urodèle a pu, pour la première fois, être obtenu et élevé jusqu'à l'âge de 3 ans. Dans le testicule la première division méïotique présente des anomalies qui entraînent la pycnose des cellules filles et ne permet pas l'achèvement de la spermatogenèse.

On sait que dans la parthénogenèse naturelle (ex. Hyménoptères) un individu haploïde arrive par un processus régulateur mis en œuvre au cours de la réduction chromatique, à édifier des gamètes haploïdes. Un tel processus doit être conçu comme un phénomène fixé dans le génotype de l'espèce, mais dont l'acquisition par la lignée est secondaire. Il est consécutif au fait même de la parthénogenèse. On peut alors se demander ce qu'il advient dans la gamétogenèse d'une espèce où la parthénogenèse naturelle n'existe pas et où expérimentalement on obtient la réalisation d'individus haploïdes élevés jusqu'à l'état adulte.

Ce problème a pu être abordé chez un Amphibien urodèle, *Pleurodeles waltlii.* Dans un premier temps, des embryons haploïdes sont obtenus, soit par exérèse du pronucleus femelle lors de la fécondation, soit plus généralement par un choc thermique (+ 1/+ 2°) de l'œuf fécondé. Pour la quasi-généralité des cas de tels animaux haploïdes meurent précocement, le plus souvent au moment où débute la prise de nourriture. Cependant leur élevage en parabiose avec un individu standard diploïde permet la survie, le développement au-delà de la métamorphose et jusque l'état structural de l'adulte. Actuellement nous disposons de 25 Pleurodèles haploïdes âgés de 5 mois à 3 ans, dont neuf ont plus de deux ans [(1) à (4)].

La différenciation de la gonade des haploïdes interfère avec celle des diploïdes, elle est marquée notamment par des effets d'inhibition. Ce point sera étudié ultérieurement. Pour le problème posé nous retiendrons les phénomènes de la gamétogenèse d'un mâle haploïde âgé de 3 ans, morphologiquement adulte, dont la gonade présente les caractères apparents de cet état (4).

L'individu haploïde a pour origine un œuf pondu et choqué le 24 mai 1957; l'embryon fut mis en parabiose le 29 mai 1957, la métamorphose notée dans le courant du huitième mois (janvier 1958). L'autopsie (juin 1960) des deux parabiontes montre que le composant diploïde possède deux gonades de type ovarien, profondément inhibées et réduites à un mince cordon. Cependant les bras montrent une callosité modeste, mais qui témoigne incontestablement de la présence d'hormone mâle dans le sang circulant, commun aux deux individus. Effectivement le composant haploïde porte deux testicules, le gauche plus petit que le droit. Celui-ci mesure 5 × 4 mm, il a l'aspect macroscopique caractérisant un adulte.

L'examen des coupes de ce testicule révèle des aspects bien particuliers (*fig.* 1-2). Il n'existe ni spermatides, ni figures de spermiogenèse, ni spermatozoïdes. En revanche les spermatogonies sont normales et les stades initiaux de la première cinèse de la réduction méïotique jusqu'au stade pachytène se laissent observer sans difficulté. Pour chaque stade caractéristique le noyau est sensiblement de taille moitié par rapport à celle du stade correspondant chez un témoin (*fig.* 3 à 6).

A la périphérie de la gonade on rencontre une zone corticale de cystes contenant des spermatogonies. L'étude caryologique pratiquée sur coupes et écrasements montre que les mitoses goniales possèdent les 12 chromosomes du stock haploïde. La zone des cystes à spermatogonies passe à une seconde où s'observent des spermatocytes I. Ceux-ci subissent une évolution caryologique comparable à celle de leurs équivalents chez les témoins diploïdes. Bien qu'il n'y *ait pas appariement de chromosomes homologues*, l'aspect très caractéristique du stade pachytène est bien identifiable, les chromosomes montrant les courtes expansions latérales habituelles. La taille des spermatocytes I s'accroît. Puis les chromosomes se contractent fortement, et sont très colorables. Mais on n'observe pas la formation des bivalents caractéristiques de la métaphase I. L'appareil achromatique se développe normalement. Cependant les chromosomes métaphasiques ne se clivent pas. Ces univalents se répartissent en deux lots entre les deux cellules filles, sans s'être divisés et apparemment d'une manière quelconque, ce dernier point restant à préciser. La plasmodiérèse aboutit à la formation de l'équivalent de spermatocytes II, mais aneuploïdes.

Ce dernier stade est suivi d'une cytolyse rapide. On trouve en effet dans les cystes plus centraux des amas de noyaux pycnotiques. Certains de ces noyaux compacts ont une taille double des autres, des noyaux de volume intermédiaire s'observent. Il est clair que la dégénérescence est totale à la télophase de la cinèse spermatocyte I-spermatocyte II. Il est probable qu'elle commence, pour certaines cellules, dès le stade pachytène,

EXPLICATION DES FIGURES.

Fig. 1. — Coupe dans un testicule témoin de Pleurodèle montrant l'organisation générale de la gonade à maturité sexuelle.

Fig. 2. — Coupe correspondante du testicule haploïde. Remarquer la région centrale avec des cystes en complète involution.

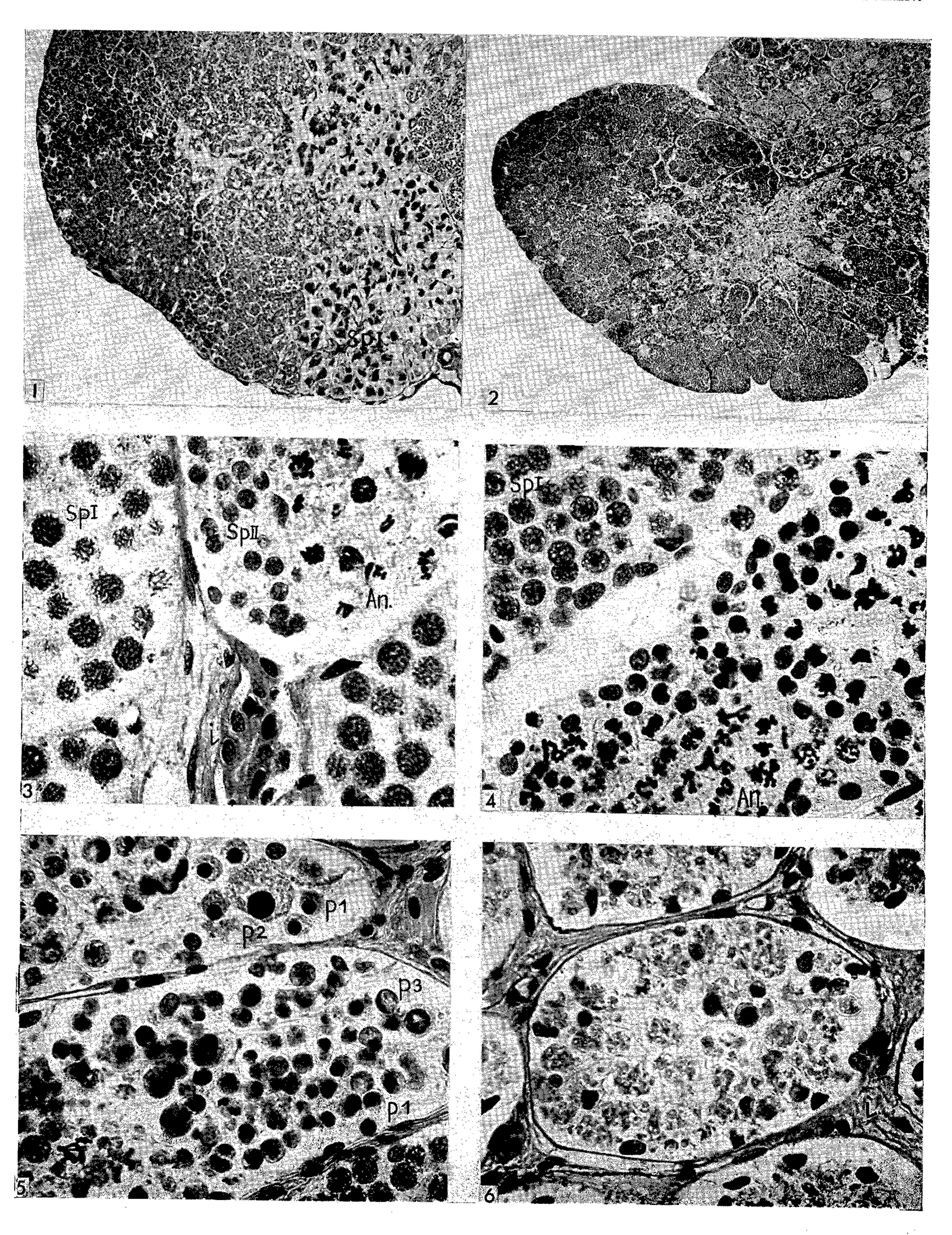
Fig. 3. — Coupe dans un testicule témoin diploïde montrant les phases normales de la première cinèse de maturation. Noter le volume des noyaux aux divers stades.

Fig. 4. — Coupe dans un cyste présentant divers aspects du phénomène abortif : spermatocytes I (Sp. I), pachyténie, métaphases et anaphases I (An.), noyaux en pycnose.

Fig. 5. — Coupe dans un cyste montrant des aspects pycnotiques plus avancés. Noter les volumes variables des noyaux pycnotiques (p 1, p 2, p 3).

Fig. 6. — Achèvement de la dégénérescence dans un cyste central. Noter le tissu interstitiel (i.).

Fig. 1 et 2 (G × 20); Fig. 3 à 6 (G × 375) An., anaphases de la première cinèse; (i., tissu interstitiel; Sp. I, Sp. II, spermatocytes I et II; Spz., spermatozoïdes).


1
SpI
2
3
SpI
SpII
An.
L
4
SpI
An.
5
P1
P2
P3
P1
6
L

comme le suggère la présence de noyaux du volume correspondant à ce stade et déjà pycnotiques.

Enfin l'observation des cystes occupant la région centrale de la gonade révèle l'achèvement du processus involutif. Les cystes sont remplis d'une masse de cellules détruites à contenu granuleux clair, sans traces d'organisation, où subsiste parfois la membrane cellulaire. Entre les cystes on note la présence d'un tissu interstitiel médiocrement développé, permettant toutefois par son activité endocrine la présence des callosités mentionnées précédemment.

Chez les rares spécimens d'Urodèles haploïdes ayant vécu assez longtemps pour que le sexe de la gonade puisse être identifié, on ne connaissait jusqu'alors que des femelles ([5]), ([6]), ([7]). Ces individus n'ont guère dépassé le stade de la métamorphose et leur gamétogenèse est inconnue. Pour la première fois un individu haploïde mâle d'Urodèle a pu être obtenu et élevé jusqu'au stade correspondant à l'adulte. La spermatogenèse commence normalement, mais aucun phénomène régulateur de la méïose ne se produit. Le processus avorte à la fin de la première cinèse de maturation entraînant la stérilité des mâles haploïdes.

([1]) L. Gallien, *C. R. Soc. Biol.*, 151, 1957, p. 1085.
([2]) L. Gallien, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4038.
([3]) J. C. Beetschen, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2672.
([4]) J. C. Beetschen, *Bull. Biol. Fr. Belg.*, 94, 1960, p. 12.
([5]) G. Fankhauser, *J. Exp. Zool.*, 79, 1938, p. 35.
([6]) M. Fischberg, *Genetica*, 24, 1948, p. 213.
([7]) M. Sanada, *J. Sc. Hiroshima Univ.*, série B, div. 1, 12, 1951, p. 35.

(*Laboratoire d'Embryologie, Faculté des Sciences, Paris.*)

EMBRYOLOGIE. — *Les caractères de la phase de rotation des œufs dans l'utérus, chez l'Orvet* (Anguis fragilis L.). Note de M. **Albert Raynaud** [1], présentée par M. Jacques Tréfouël.

Au cours de recherches effectuées en collaboration avec P. Ancel sur l'orientation de l'axe embryonnaire chez l'Orvet, une rotation des œufs dans l'utérus a pu être observée directement [2] : les œufs, ellipsoïdaux à ce stade, tournent autour de leur grand axe, dans une direction opposée au mouvement des aiguilles d'une montre; la rotation est de même sens dans les deux oviductes; la durée d'un tour est comprise entre 5 et 7 mn.

Dans cette Communication, j'apporte des renseignements complémentaires sur cette phase de rotation et j'examine quels rapports peuvent exister entre elle et l'orientation de l'axe embryonnaire.

1. *Stade de développement des œufs au cours de la phase de rotation.* — Quelques œufs de l'orvet Orv. 238 sacrifié le 3 juin 1960, alors que les œufs étaient en rotation active dans l'utérus, ont été, après fixation et coloration *in toto*, étudiés à la loupe binoculaire : ils étaient au stade du disque germinatif ovale, non segmenté; la surface du disque était unie ou présentait de petits creux; l'examen histologique de deux d'entre eux m'a montré qu'ils avaient été pénétrés par plusieurs spermatozoïdes : les noyaux spermatiques avec leur traînée, étaient visibles à une certaine profondeur, en général au-dessous des creux de surface; dans un des deux œufs, deux assez gros noyaux accolés, représentent vraisemblablement les pronuclei mâle et femelle en conjugaison; deux noyaux plus petits offrent une image semblable dans l'autre œuf. Contrairement à la suggestion faite antérieurement [2] il s'agit donc là d'œufs fécondés.

Au moment où la rotation des œufs touche à sa fin (œufs de l'orvet Orv. 264 sacrifié le 20 juin), l'œuf est encore au stade du disque germinatif ovale; ce dernier est en cours de segmentation; il mesure environ $2{,}8 \times 3{,}5$ mm et comprend de grands blastomères dans une zone périphérique en forme de croissant et de petits blastomères (leur répartition suggère l'existence d'un plan de symétrie); ainsi que l'indiquent les variations de volume des blastomères et la dimension encore faible du disque germinatif, la segmentation en surface du disque germinatif est assez loin d'être terminée [les stades auxquels se trouvent ces œufs correspondent à ceux des œufs représentés sur les figures 13 à 15 de la planche XVII du travail de Nicolas [3]].

2. *Rapports entre le mouvement de rotation des œufs et l'orientation de l'axe embryonnaire.* — On sait que dans l'utérus, l'embryon est orienté dans la majorité des cas (80 % environ) selon le petit axe de l'œuf ou plus ou moins obliquement par rapport à cet axe; au total, 92,8 % des embryons ont, *in utero*, leur tête tournée du côté droit de la mère, c'est-

à-dire dans la direction du mouvement de rotation de l'œuf (3); ainsi apparaît une relation manifeste entre l'orientation de l'axe queue-tête de l'embryon et le sens de la rotation des œufs dans l'utérus. A la suite des travaux effectués par P. Ancel et P. Vintemberger (4) chez l'œuf de grenouille, mettant en évidence l'effet d'une rotation de courte durée sur l'orientation de l'axe embryonnaire, plusieurs auteurs ont envisagé l'existence de relations du même ordre chez les Oiseaux et chez les Reptiles.

Chez les Oiseaux P. Vintemberger et J. Clavert (5), (6) ont mis en évidence la relation existant entre l'orientation de l'embryon et le sens du mouvement de rotation imprimé à l'œuf par l'utérus; d'après leur conception (6), le sens de l'axe embryonnaire est lié à celui du mouvement de rotation des enveloppes de l'œuf; cette interprétation est en accord avec les résultats de leur analyse (7) des effets de la rotation chez l'œuf de grenouille rousse : ce serait l'action de surface que le chorion exerce ici sur le cortex ovulaire au cours de la rotation, qui serait responsable de l'effet symétrisant; lorsque les enveloppes tournent autour de l'œuf, l'axe queue-tête de l'embryon est orienté dans le sens de la rotation des enveloppes; inversement si c'est l'œuf qui tourne à l'intérieur de ses enveloppes, la tête de l'embryon doit être dirigée dans le sens opposé au déplacement.

Chez les Reptiles, Pasteels (8), J. Clavert et J. P. Zahnd (9) avaient déjà pressenti l'existence d'une relation entre un mouvement de rotation des œufs dans l'utérus et l'orientation de l'embryon, mais ils n'avaient pas observé cette rotation et en ignoraient donc les modalités et la direction. Clavert et Zahnd admettaient que l'ovocyte devait demeurer dans une position d'équilibre relativement constante dans l'oviducte, tandis que la rotation des membranes de l'œuf devait déterminer l'orientation de l'axe embryonnaire (9). Récemment P. Ancel (10) envisage, à la suite de nos observations, que la compression de l'œuf et la rotation orientent le plan de symétrie embryonnaire dans le plan perpendiculaire au grand axe de l'utérus; la rotation de l'œuf d'Orvet, agissant comme la « rotation d'orientation » chez la Grenouille rousse, orienterait l'axe tête-queue.

Un certain nombre de différences paraissent exister entre les effets de la rotation sur l'orientation de l'axe embryonnaire chez les Batraciens d'après l'analyse qu'en ont faite P. Vintemberger et J. Clavert (7) et les faits observés chez l'Orvet : chez ce dernier c'est l'œuf lui-même qui tourne dans l'utérus; le cytoplasme du disque germinatif est protégé en surface par la membrane vitelline (*zona radiata*); j'ignore quel est le comportement de son enveloppe secondaire; il est probable qu'elle est entraînée avec l'œuf ou qu'elle tourne moins rapidement que lui. L'axe queue-tête de l'embryon est cependant orienté dans le sens du mouvement de rotation.

D'autre part, ainsi que le montrent les faits rapportés ici, chez l'Orvet la rotation des œufs commence très tôt dans l'utérus; elle est active au

moment où l'œuf vient d'être fécondé mais n'est pas encore entré en segmentation; et elle est pratiquement terminée avant que le disque germinatif ne soit totalement segmenté en surface. Il est donc probable que chez l'Orvet la rotation exerce son maximum d'effet sur le cytoplasme indivis du disque germinatif. Il y a là des différences importantes par rapport à ce qui est connu chez les Oiseaux, chez lesquels la détermination de l'axe embryonnaire est tardive (stades de prégastrulation) ([11]), ([12]).

Pour ces diverses raisons, à côté des hypothèses des auteurs précédents, j'envisage que le mouvement de rotation puisse exercer sur le disque germinatif non segmenté de l'œuf d'orvet, un effet de symétrisation, de l'une ou l'autre des manières suivantes : soit en provoquant des déplacements dans les couches cytoplasmiques, de viscosité différente, du disque germinatif, entraînant ainsi un remaniement de l'organisation primitive de ce disque; soit en provoquant un certain brassage des constituants de ce disque avec répartition des matériaux de part et d'autre du plan de rotation qui devient ainsi plan de symétrie orienté (par l'inertie des matériaux de densité variable); soit encore que les ondes de contraction musculaire de l'utérus puissent provoquer des déformations de petite amplitude de l'œuf déterminant, en synergie avec la rotation, une orientation des constituants du disque germinatif parallèlement au plan de rotation.

([1]) Avec l'assistance technique de Mlle J. Defoort, du C. N. R. S.

([2]) A. Raynaud et P. Ancel, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 615.
([3]) A. Nicolas, *Arch. Biol.*, 20, 1904, p. 611-658.
([4]) P. Ancel et P. Vintemberger, *Bull. Biol. Fr. et Belg.*, suppl. 31, 1948, p. 1-182.
([5]) P. Vintemberger et J. Clavert, *C. R. Soc. Biol.*, 148, 1954, p. 149-151.
([6]) P. Vintemberger et J. Clavert, *C. R. Soc. Biol.*, 148, 1954, p. 571-575.
([7]) P. Vintemberger et J. Clavert, *Arch. d'Anat. d'Hist. et d'Embryol.*, 37, 1955, p. 153-162.
([8]) J. Pasteels, *Arch. d'Anat. d'Hist. et d'Embryol.*, 37, 1955, p. 125-130.
([9]) J. Clavert et J. P. Zahnd, *C. R. Soc. Biol.*, 149, 1955, p. 1650-1651.
([10]) P. Ancel, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1203.
([11]) P. Vintemberger et J. Clavert, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 661-665.
([12]) J. Clavert et P. Vintemberger, *C. R. Soc. Biol.*, 154, 1960, p. 400-403.

(*Institut Pasteur, Laboratoire de Sannois, Seine-et-Oise.*)

PHYSIOLOGIE. — *Evaluation de paramètres caractérisant le corps humain comme système de masses suspendues.* Note (*) de MM. **Alain Wisner**, **André Donnadieu** et **Jacques Pomey**, présentée par M. Maurice Roy.

Si l'on soumet à des mouvements sinusoïdaux verticaux un homme assis, par l'intermédiaire d'une table vibrante, on peut évaluer les caractéristiques dynamiques des différentes parties du corps en vibrations longitudinales verticales. On peut, en particulier, apprécier l'amortissement caractéristique des groupes musculaires mis en jeu et mettre en évidence les fréquences de résonance des diverses masses corporelles. C'est ainsi que la fréquence de résonance de la tête varie de 1,1 à 2 Hz et celle du thorax de 4,2 à 5,1 Hz.

Le corps humain soumis à des excitations sinusoïdales ne peut être assimilé à une masse unique. Les différentes parties du corps se déplacent les unes par rapport aux autres comme dans tout système de masses suspendues à plusieurs degrés de liberté.

Pour étudier ces mouvements réciproques, nous avons placé des sujets sur des sièges assujettis à une table vibrante. L'amplitude de l'excitation sinusoïdale verticale pouvait varier de ± 1 à ± 7 mm et la fréquence de 0,85 à 10 Hz.

Sur la tête, le thorax et le bassin du sujet ainsi que sur la table, des capteurs d'accélération verticale à mutuelle inductance étaient solidement assujettis sans toutefois gêner le sujet. Les emplacements étaient choisis de telle sorte que les contractions musculaires ne déplacent pas les capteurs.

Les quatre types de sièges utilisés étaient :

1° Un siège de voiture automobile de qualités moyennes où le sujet était assis bas et avec une inclinaison du dossier de 20° par rapport à la verticale.

2° Un siège d'étude constitué par le moulage rigide du corps du sujet assis dans le premier siège.

3° Un siège identique au premier mais surélevé de 20 cm et basculé vers l'avant d'un angle de 20°, de telle sorte que le dossier soit vertical.

4° Un siège d'étude constitué par le moulage rigide du corps du sujet assis dans le troisième siège.

Les sujets étaient des hommes de 30 ans environ pesant respectivement 58, 72 et 87 kg.

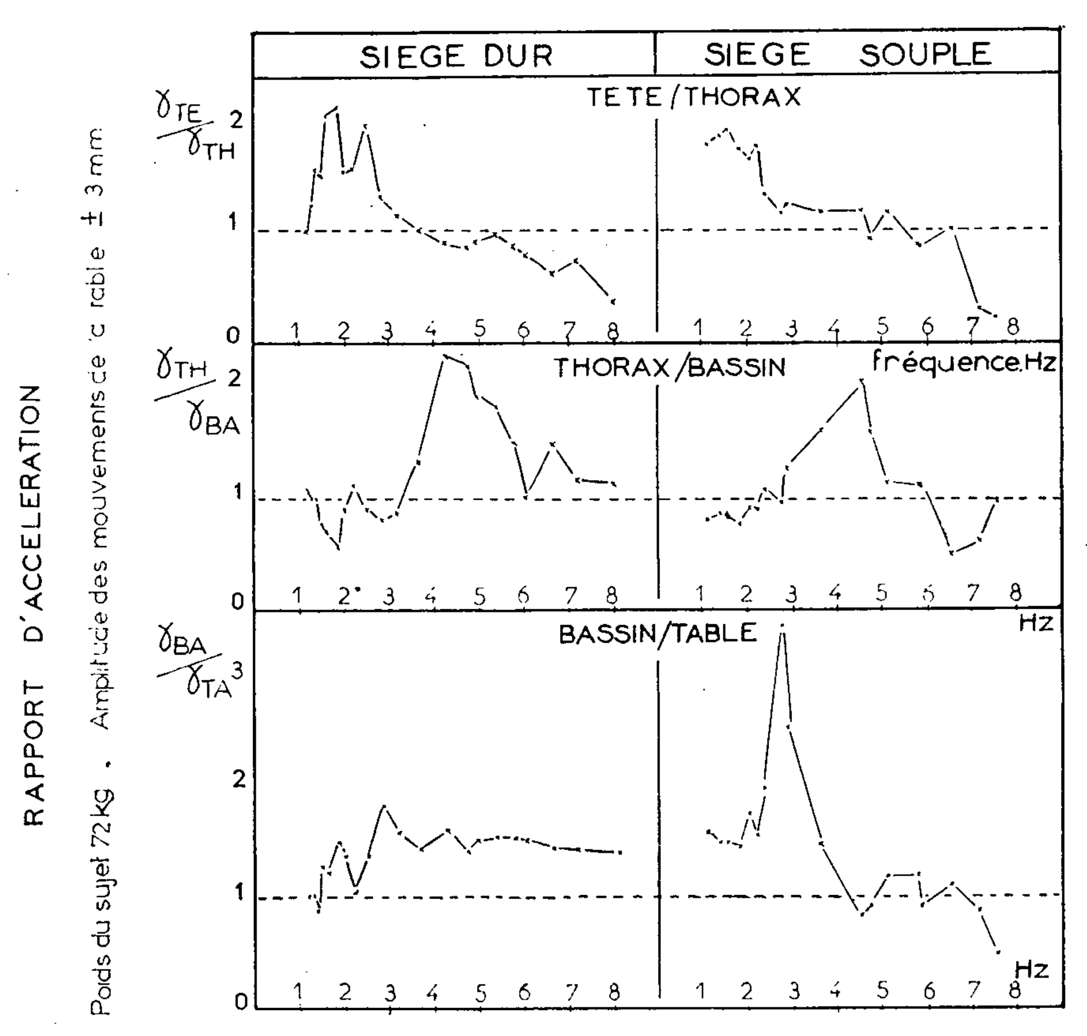
Des essais furent réalisés en attitude normale, raidie et relâchée de la musculature.

Les résultats furent interprétés en traçant, en fonction des fréquences d'excitation, les courbes de transmissibilité ou plus exactement les courbes des rapports d'accélérations maximales des masses corporelles prises deux à deux. On a aussi tracé en fonction des fréquences d'excitation les courbes de déphasage des masses corporelles les unes par rapport aux autres.

Les résultats suivants ont été observés :

1. *Tête.* — La tête présente des fréquences de résonance comprises entre 1,1 et 2 Hz. Le poids des sujets, le degré de contraction de leur musculature ne paraissent pas influencer nettement la place de la fréquence de résonance. Les qualités du siège (hauteur, inclinaison, rigidité) ne semblent pas déplacer la fréquence de résonance; par contre, la transmissibilité entre la tête et le thorax diminue quand la souplesse du siège augmente.

Seule l'amplitude de l'excitation, c'est-à-dire l'énergie communiquée au corps humain nous a paru influer sur la fréquence de résonance de la



Rapport des accélérations des différentes masses corporelles en fonction de la fréquence d'excitation et de la nature du siège.

tête : la fréquence passe de 2 Hz pour une excitation de $\pm$ 1 mm à 1,7 Hz pour une excitation de $\pm$ 6 mm.

Le déphasage de la tête par rapport au thorax est nul ou très faible tout au moins pour les amplitudes supérieures à $\pm$ 1 mm.

2. *Thorax.* — Le thorax présente des fréquences de résonance comprises entre 4,2 et 5,1 Hz. De nombreux facteurs agissent pour modifier cette fréquence de résonance. C'est ainsi que nous avons pu montrer que :

a. la fréquence de résonance passe de 5 Hz pour le sujet léger (58 kg) à 4 Hz pour le sujet lourd (87 kg) pour la même attitude moyenne, le même siège et la même excitation.

b. La fréquence de résonance varie de 5 Hz pour une attitude raidie (avec coefficient d'amplification voisin de 2,7 entre thorax et bassin) à 4 Hz pour une attitude relâchée (avec coefficient d'amplification voisin de 1).

c. La fréquence de résonance du thorax ne paraît pas influencée de façon nette par la nature du siège (souple ou dur, bas ou haut, incliné ou droit).

d. La fréquence de résonance du thorax varie de 5 Hz pour une amplitude d'excitation de ± 1 mm à 4 Hz pour une amplitude d'excitation de ± 6 mm. Cette constatation reste vraie quelle que soit la nature du siège.

L'étude des déphasages en fonction de la fréquence permet d'une part de vérifier les valeurs de fréquences de résonance que nous venons de donner, et d'autre part d'évaluer l'amortissement musculaire entre bassin et thorax. Quand le sujet est assis sur un siège souple, on note une pente faible de la courbe de déphasage en fonction de la fréquence, évoquant le fort amortissement de la liaison élastico-visqueuse que constituent les masses musculaires de l'abdomen et des lombes. Quand le sujet est assis sur un siège dur, la pente de la courbe de déphasage est plus forte et l'on peut tenter de situer cette courbe expérimentale dans la famille des courbes de déphasage classique et d'attribuer au système un coefficient réel d'amortissement égal à 2/10e du coefficient d'amortissement critique.

3. *Bassin*. — Le bassin ne présente par rapport à la table aucune fréquence de résonance quand le sujet est assis sur un siège dur. Pour une amplitude aussi faible que ± 1 mm, la suspension que constituent théoriquement les parties molles des fesses n'apparaît pas.

Pour le sujet assis sur un siège de souplesse moyenne, le bassin présente une résonance très nette entre 2 et 3,5 Hz. Comme cela est prévisible, la fréquence de résonance passe de 3,2 Hz pour une excitation de ± 1 mm à 2,3 Hz pour une excitation de ± 6 mm.

Conclusion. — Le corps humain doit être considéré comme un système de masses suspendues dont les caractéristiques varient avec certaines conditions externes et internes.

On peut, en particulier, expliquer les divergences entre les auteurs qui ont cherché la fréquence de résonance de l'homme assis.

Ceux qui ont étudié l'homme assis sur un siège souple ont trouvé une fréquence de résonance voisine de 2,8 Hz (la fréquence de résonance du bassin suspendu par le siège prédomine).

Les auteurs qui ont étudié l'homme assis sur un siège rigide ont trouvé une fréquence de résonance voisine de 4 Hz (la fréquence de résonance du thorax apparaît seule puisque le bassin n'est pratiquement pas suspendu).

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(*Travail du laboratoire de Physiologie de la Régie Nationale des Usines Renault.*)

NUTRITION. — *Bilans énergétiques et azotés de la Ratte au cours de la gestation et sous l'effet de la prolactine.* Note (*) de M[lles] **Odette Champigny**, **Geneviève Bourdel** et M. **Raymond Jacquot** (¹), présentée par M. Robert Courrier.

Les manifestations anaboliques de la gestation et celles qui sont provoquées par administration de prolactine, l'élévation de la rétention azotée notamment, ne sont pas accompagnées d'une augmentation sensible des échanges respiratoires.

Au cours de la gestation de la Ratte, on observe une élévation très notable de la rétention azotée, qui va de pair avec une forte prise de poids vif. De même, l'administration de prolactine, hormone impliquée dans le maintien de l'anabolisme gravidique, permet un gain de poids et une protéinogenèse accrus (²). Il était intéressant de voir dans quelle mesure ces phénomènes anaboliques affectaient le métabolisme énergétique.

Gestation. — Les bilans azotés et énergétiques ont été étudiés en continu, grâce au circuit de Cahn et Houget modifié (³), sur un lot de trois rattes gestantes et sur un lot témoin de trois animaux de même poids initial. L'expérience a duré 19 jours et les résultats par lot entier figurent dans le tableau I.

Tableau I.

	Lot de témoins.	Lot de gestantes.
Gain pondéral (g/j)	2,2	10,8 (*)
N ingéré (g/j)	0,967	1,061
N retenu (g/j)	0,141	0,203
O_2 consommé (l/j)	27,8	27,3
CO_2 dégagé (l/j)	24,0	24,7
Q. R.	0,86	0,90
Calories retenues par jour	14,2	36,7
O_2 (l/j/100 g)	4,1	3,1
CO_2 (l/j/100 g)	3,5	2,8

(*) Dont 4,7 g pour les fœtus et annexes.

En valeur absolue, les échanges respiratoires sont de même ordre chez les gestantes et les témoins, bien que les deux lots se comportent très différemment du point de vue croissance pondérale et rétention azotée. Si l'on rapporte les échanges à une unité de poids vif, on voit que, par 100 g de poids corporel, les gestantes ont une consommation d'oxygène inférieure à celle des témoins. A poids vif égal, les gestantes dépensent donc moins d'énergie que les témoins à l'entretien. La différence pour l'oxygène est de — 17 %.

Prolactine. — Deux séries expérimentales ont été entreprises, l'une sur des rattes adultes encore jeunes d'un poids moyen de 200 g, l'autre sur des animaux plus âgés de 300 g environ, chaque lot comprenant trois animaux. Dans le premier cas on a comparé pendant 12 jours trois rattes témoins M, F, R, à trois rattes O, D, A recevant chacune des injections

de 100 U. I. de prolactine par jour. Dans un deuxième temps de 12 jours également les rattes M, F, R elles-mêmes ont été traitées à la prolactine. Avec les rattes plus âgées B, C, D, le dispositif a été le suivant : bilans témoins pendant 12 jours, injection de prolactine pendant 12 jours, interruption et bilans témoins pendant 7 jours, reprise de prolactine pendant 12 jours. Les résultats d'ensemble figurent dans le tableau II. Ils intéressent les lots entiers.

TABLEAU II.

	Rattes de 200 g.			Rattes de 300 g.			
	T.	*Pr.*	*Pr.*	*T.*	*Pr.*	*T.*	*Pr.*
N° des rattes	M, F, R.	M, F, R.	O, D, A.	B, C, D.	B, C, D.	B, C, D.	B, C, D.
Poids moyen (g)	665	730	715	844	886	933	973
Gain pondéral (g/j)	2,9	8,0	8,1	1,2	5,8	3,4	4,7
N ingéré (g/j)	1,013	1,157	1,152	1,040	1,159	1,111	1,138
N retenu (g/j)	0,131	0,190	0,265	0,032	0,137	0	0,074
O_2 total consommé (l/j)	27,9	29,4	28,8	28,0	28,1	29,2	30,0
CO_2 total dégagé (l/j)	25,3	26,7	26,0	26,3	26,5	27,1	28,2
Q. R.	0,91	0,91	0,91	0,94	0,94	0,93	0,94
Calories retenues par jour	18,6	35,3	37,8	27,9	39,3	31,3	30,9
O_2 (l/j/100 g)	4,1	3,8	3,8	3,3	3,2	3,1	3,1
CO_2 (l/j/100 g)	3,7	3,4	3,4	3,1	3,0	2,9	2,9

Sous l'influence de la prolactine, la croissance pondérale est stimulée, la rétention d'azote augmentée et cela même chez des rattes âgées. Les facultés anabolisantes de cette hormone sont donc à nouveau démontrées. Cependant les échanges respiratoires ne subissent pas une élévation parallèle. L'expression des échanges gazeux en valeur relative (O_2 et CO_2 par 100 g de poids vif) montre que leur intensité a tendance à diminuer après administration de prolactine, du moins chez les rattes jeunes (tableau II).

Conclusions. — Il apparaît donc que les phénomènes anaboliques induits par la gestation ne modifient pas sensiblement les échanges respiratoires. Ceci revient à dire que le coût énergétique de l'édification de la portée et des réserves maternelles est très faible par rapport au besoin d'entretien. Il semble donc que le rendement des synthèses de la gestation soit élevé. Nos précédentes recherches tendaient à attribuer à la prolactine un rôle essentiel dans le maintien de l'anabolisme gravidique. Cette hypothèse se trouve étayée par le fait que cette hormone, comme la gestation, stimule le développement pondéral et la rétention azotée sans élévation notable des échanges respiratoires.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) Avec la collaboration technique de Y. Tranier.

(2) G. BOURDEL et R. JACQUOT, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2249.

(3) J. ABRAHAM, O. CHAMPIGNY et R. JACQUOT, *Ann. Nut. Alimen.*, 12, 1958, p. 210-213.

(*Laboratoire de Biochimie de la Nutrition, C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

ENDOCRINOLOGIE. — *Action de l'insuffisance thyroïdienne sur la survie du Rat surrénalectomisé.* Note (*) de MM. **Frédéric Stéphan**, **Henri Jahn** et **Philippe Reville**, présentée par M. Robert Courrier.

Chez le Rat l'insuffisance thyroïdienne aggrave les effets de la surrénalectomie. L'acétate de désoxycorticostérone et l'hydrocortisone, administrés à des doses qui assurent la survie du Rat euthyroïdien surrénalectomisé, ne peuvent empêcher la déshydratation et la mort du Rat hypothyroïdien surrénalectomisé.

Au cours de diverses recherches on a pu voir que l'insuffisance thyroïdienne entraîne chez le Rat une augmentation de l'excrétion urinaire de l'eau, du sodium et du potassium ([1]), ([2]), ([3]). Il nous semble que ce phénomène est indépendant de l'activité du cortex surrénalien car, après surrénalectomie, les pertes hydrosodiques du Rat hypothyroïdien sont toujours supérieures à celles du Rat euthyroïdien ([4]). De plus, nous avons pu voir que la mortalité par insuffisance surrénalienne est fortement aggravée par l'hypothyroïdisme ([4]).

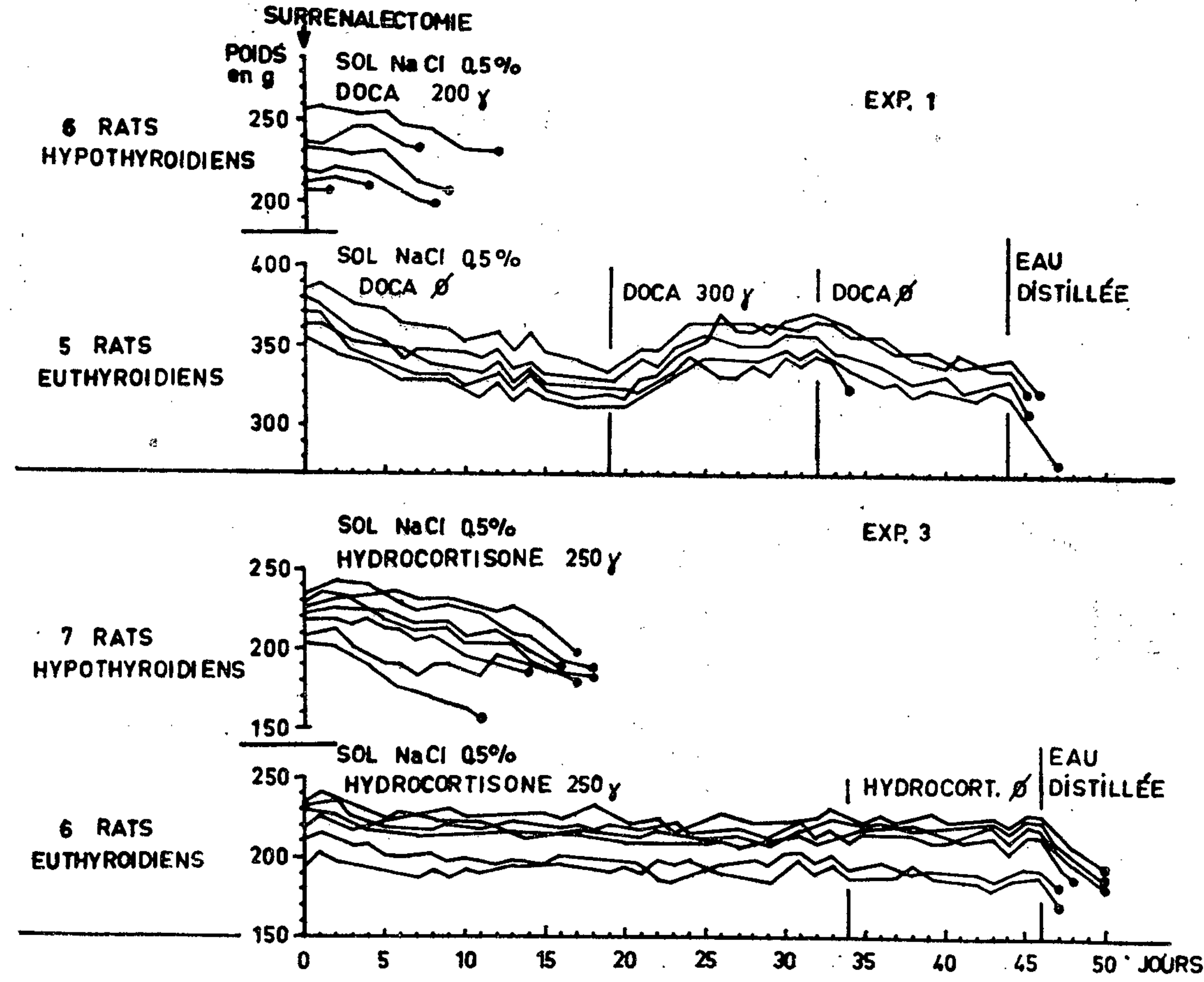
Ce fait a déjà été signalé par Massey ([5]); il semble aussi d'après Thompsou et Long ([6]) que le Chien thyroïdectomisé tolère mal l'ablation des surrénales. Par contre Wyman ([7]), Ganju et Lockett ([8]) constatent que la thyroïdectomie ne modifie pas la résistance à l'agression du Rat et de la Souris surrénalectomisés. Zwemer ([9]), Carr et Connor ([10]) pensent même que l'insuffisance thyroïdienne protège le Chat et le Rat contre les effets de l'insuffisance surrénalienne. Verzar ([11]) peut équilibrer le Chat hypothyroïdien surrénalectomisé avec moins d'acétate de désoxycorticostérone que les témoins euthyroïdiens. La contradiction entre ces données et nos propres expériences nous a amenés à reprendre l'étude comparative des effets d'hormones corticosurrénaliennes sur la courbe pondérale et la survie de rats hypothyroïdiens surrénalectomisés et de rats euthyroïdiens surrénalectomisés.

Dans une première expérience, nous avons observé six rats mâles de la souche Wistar pesant en moyenne 235 g traités par le propylthiouracile (10 mg pour 100 g d'aliments) depuis 282 jours. Ils ont été surrénalectomisés le même jour que cinq rats mâles euthyroïdiens, de même âge et pesant en moyenne 371 g. Tous ces animaux avaient libre accès à une solution de chlorure de sodium à 0,5 % et à une nourriture standard.

Les rats hypothyroïdiens ont reçu quotidiennement 80 μg d'acétate de désoxycorticostérone (DOCA) par 100 g de poids corporel dès le jour de l'opération, tandis que les rats témoins ne recevaient aucune injection hormonale. Malgré les injections de DOCA les rats hypothyroïdiens surrénalectomisés se sont deshydratés, ils sont morts en 2 à 12 jours, alors que les témoins euthyroïdiens ont survécu grâce au seul apport salin alimentaire; l'insuffisance surrénale ne s'est manifestée chez eux que par une

chute pondérale. La même dose de DOCA administrée à ces rats témoins à partir du 7[e] jour après le décès du dernier rat hypothyroïdien a été fort bien tolérée; nous notons une rapide normalisation de leur poids. L'arrêt de la DOCA entraîne la mort d'un rat témoin; les quatre autres meurent en 1 à 3 jours après remplacement de la boisson salée par de l'eau distillée : ces animaux étaient donc complètement surrénalectomisés.

Dans une deuxième expérience, nous avons injecté quotidiennement 1 mg de DOCA à des rats hypothyroïdiens surrénalectomisés, nous avons néanmoins perdu deux rats sur six pendant 33 jours d'observation. Notons que



Effet de la DOCA (exp. 1) et de l'hydrocortisone (exp. 3) sur le poids et la mortalité de rats euthyroïdiens surrénalectomisés et de rats hypothyroïdiens surrénalectomisés. (L'arrêt des courbes pondérales indique la mort de l'animal.)

Schaeffer et Thibault ([12]) ont pu assurer la survie de rats éthyroïdés-surrénalectomisés en administrant 2 mg de DOCA par jour. Il faut donc recourir à des doses considérables pour arriver à compenser l'insuffisance surrénale du Rat en état d'hypothyroïdisme chronique.

Dans une troisième expérience, nous avons éprouvé les effets de l'hydrocortisone. Nous avons administré 250 μg par jour et par rat à sept rats femelles pesant en moyenne 216 g, traités par le propylthiouracile depuis 177 jours, recevant la même nourriture et la même solution saline que dans les autres expériences. Tout comme la DOCA cette hormone n'a pas pu empêcher la deshydratation mortelle des rats hypothyroïdiens surrénalectomisés, alors que six rats euthyroïdiens, pesant en moyenne 221 g, surrénalectomisés le même jour, sont restés en parfait état avec ce même traitement.

Il apparaît donc que l'hypothyroïdisme aggrave les conséquences de l'insuffisance surrénale du Rat et diminue l'action de la DOCA et de l'hydrocortisone. Le désaccord entre nos conclusions et celles d'autres auteurs s'explique par des différences de conditions expérimentales. Les faits que nous rapportons montrent que l'insuffisance thyroïdienne entraîne chez le Rat un profond trouble de la réabsorption du sodium par le tube rénal. La gravité de l'insuffisance surrénale du Rat hypothyroïdien peut s'expliquer par la sommation des pertes hydrosodiques liées à l'insuffisance cortico surrénalienne et des pertes secondaires à l'insuffisance thyroïdienne, car la tendance à la fuite de l'eau et du sodium est une caractéristique essentielle du métabolisme hydrominéral du Rat hypothyroïdien.

(*) Séance du 26 septembre 1960.

(1) F. Stephan, H. Jahn et B. Metz, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1227.
(2) F. Stephan, H. Jahn et B. Metz, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 332.
(3) J. Roche, R. Michel et P. Jouan, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 727.
(4) F. Stephan, H. Jahn et B. Metz, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 463.
(5) C. D. Massey, *C. R. Soc. Biol.*, 97, 1927, p. 405.
(6) K. W. Thompson et C. N. H. Long, *Endocrinology*, 28, 1941, p. 715.
(7) L. C. Wyman, *Amer. J. Physiol.*, 87, 1928, p. 42.
(8) S. N. Ganju et M. F. Lockett, *J. Endocrinol.*, 16, 1958, p. 396.
(9) R. L. Zwemer, *Amer. J. Physiol.*, 79, 1927, p. 658.
(10) J. L. Carr et C. L. Connor, *Ann. Int. Med.*, 6, 1933, p. 1225.
(11) F. Verzar, *Schweiz. Med. Wschr.*, 73, 1943, p. 1163.
(12) G. Schaeffer et O. Thibault, *C. R. Soc. Biol.*, 140, 1946, p. 100.

(Chaire de Pathologie générale et expérimentale et Laboratoire de la Clinique médicale B de la Faculté de Médecine de Strasbourg.)

BIOLOGIE. — *Influence du rapport potassium/calcium* [K]/[Ca] *du milieu sur la distribution des sexes chez les têtards de* Discoglossus pictus (*OTTH*), *élevés en solution de Ringer.* Note (*) de M. **Joseph Stolkowski** et Mlle **Annie Bellec**, présentée par M. Robert Courrier.

La valeur du rapport obtenu en divisant le nombre de mâles par le nombre de femelles présents dans une population de têtards (rapport ♂/♀) est une fonction mathématique du rapport [K]/[Ca] (concentration en ions K^+, divisée par la concentration en ions Ca^{++}) du milieu d'élevage chez un Batracien anoure : *Discoglossus pictus* (OTTH).

On sait qu'il est possible d'obtenir une transformation du sexe chez divers Batraciens en les élevant à des températures inhabituelles ([1]),([2]), ([3]), ([9]). Or, sous l'influence des variations de température, la composition ionique des cellules varie, essentiellement la teneur en potassium et en calcium. En ce qui concerne le potassium, il semble même que ces variations soient liées à celles de l'état de polymérisation des acides ribonucléiques de la cellule ([4]), ([5]).

Tableau

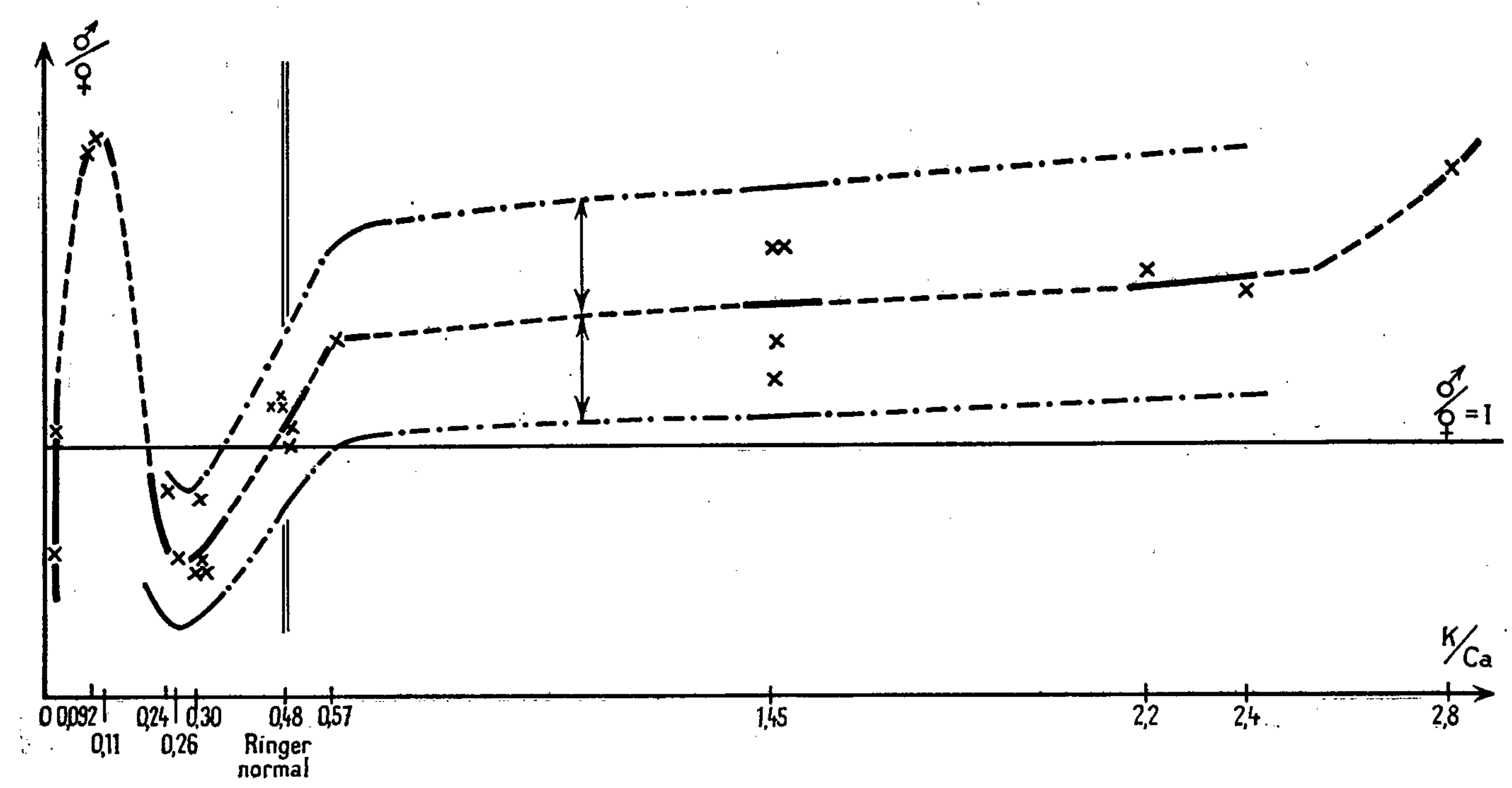
Rapports K/Ca *et* ♂/♀ *obtenus chez des têtards de* Discoclossus pictus, *élevés dans des solutions de Ringer, modifiées ou non.*

Composition des milieux d'élevage.	$\frac{K}{Ca}$.	Nombre d'animaux ♂.	♀.	$\frac{♂}{♀}$.
Hyper Ca × 4 sans K........	0	30	53	0,56
Norm. sans K...............	0	54	51	1,04
Hyper. Ca × 6, 1/2 K.........	0,092	44	20	2,20
Hyper. Ca × 5, 1/2 K.........	0,11	40	18	2,22
Norm. 1/2 K..................	0,24	47	56	0,83
Hyper. Ca × 4..............	0,26	86	170	0,51
Hyper. Ca × 3..............	0,30	17	33	0,51
		8	16	0,50
		48	60	0,80
		11	22	0,50
Normal....................	0,48	49	42	1,16
		54	46	1,17
		17	17	1
		108	103	1,04
		26	22	1,18
Norm. 1/2 Ca...............	0,57	49	35	1,4
Hyper. K × 3...............	1,45	105	82	1,28
		20	11	1,80
		33	17	1,80
		37	26	1,42
Hyper. K × 4, 1/2 Ca.........	2,2	20	12	1,70
Hyper. K × 5................	2,4	47	29	1,62
Hyper. K × 5, 1/2 Ca.........	2,8	68	32	2,12

Ces faits nous ont conduits à rechercher s'il existait une influence des variations de la composition ionique du milieu sur la formation du sexe.

Conditions expérimentales. — Les têtards utilisés proviennent de pontes naturelles et de pontes provoquées par injection aux animaux de 5 à 10 unités d'hormone gonadotrope chorionique « Roussel ». Chaque ponte est divisée en lots d'importance variable qui sont placés en solution de Ringer 48 h après la fécondation. La température est celle du laboratoire et varie de 15 à 23° suivant les saisons [6].

Le milieu de base est représenté par la solution de Ringer; on y fait varier le rapport K/Ca en réalisant des solutions hypercalciques ou hyperpotassiques dans lesquelles la concentration en $CaCl_2$ ou en KCl est de



1 cm abscisse = 0,1 unité K/Ca; 0,5 cm ordonnée = 0,1 unité ♂/♀;
-·-·-·- = courbes de dispersion.

3 à 6 fois supérieure à la normale, toutes les autres caractéristiques des solutions restant égales. Le sexe est reconnu à la dissection quelques jours après la métamorphose. Des contrôles histologiques ont été faits.

Résultats. — Les Discoglosses élevés en eau douce donnent régulièrement 50 % de mâles et 50 % de femelles. Dans le milieu de Ringer normal ces proportions sont à peu près respectées, avec cependant une légère tendance masculinisante.

Les premiers essais nous avaient montré que les solutions hypercalciques 3 fois déterminent l'apparition d'un plus grand nombre de ♀, alors que l'enrichissement du milieu en potassium entraîne l'apparition d'un plus grand nombre de mâles [7], [8].

Mais en multipliant les essais sur une ponte, naturelle, de près de deux mille œufs (ponte n° VI), nous devions constater que les faits sont plus complexes qu'il n'y paraît au premier abord : d'une part le pourcentage de ♂ croit régulièrement lorsque la concentration en potassium augmente

dans le milieu; d'autre part les solutions hypercalciques sont féminisantes dans certains cas ([Ca] × 3 et 4), masculinisantes dans d'autres cas ([Ca] × 5 et 6), ce qui est difficile à interpréter.

Si, au lieu de comparer les rapports ♂/♀ au coefficient d'hypercalcicité, on les compare aux rapports K/Ca du milieu, en groupant les résultats dans un tableau et dans un graphique, on met en évidence l'existence d'une relation continue entre les deux rapports.

Ce n'est pas là une propriété particulière aux différents lots de cette ponte importante : nous avons calculé, en effet, les valeurs des rapports ♂/♀ obtenus avec les autres pontes, naturelles ou provoquées et sans tenir compte de la température moyenne des élevages. Ces valeurs ont trouvé place, sans difficulté, à l'endroit prévu d'après la valeur du rapport K/Ca des milieux d'élevage, dans le tableau ou dans la courbe dont l'esquisse avait été tracée por les résultats de la ponte n° VI.

Le tableau et la figure rassemblent les résultats des essais que nous avons effectués de novembre 1958 à juin 1960.

La répartition des sexes chez le Discoglosse paraît donc déterminée par la valeur du rapport K/Ca du milieu d'élevage.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(¹) H. D. KING, *J. Exp. Zool.*, 12, 1912.

(²) S. KUSCHAKEWITSCH, *Fetsch. Sechs. Geburt. R. Hertwigs*, Iena, 11, 1910.

(³) J. PIQUET, *Rev. Suisse Zool.*, 37, 1930, p. 173-281.

(⁴) J. STOLKOWSKI et A. REINBERG, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2420.

(⁵) J. STOLKOWSKI, A. REINBERG et F. BLANC-DINGEON, *J. Physiol.*, 52, 1960, p. 228-229.

(⁶) Les conditions d'élevage ont été décrites avec précision dans une Note antérieure : J. STOLKOWSKI et A. BELLEC, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3349.

(⁷) J. STOLKOWSKI et A. BELLEC, *J. Physiol.*, 52, 1960, p. 227.

(⁸) Cette action du potassium avait déjà été signalée chez des Invertébrés : *Ophryotrocha puerilis* (Hartman M. et coll., 1936-1938); *Dinophilus apatris* (Tzonis K., 1938); *Bonellia viridis* (Herbst, 1932, 1935-1936-1937).

(⁹) E. WITSCHI, *J. Exp. Zool. Paris*, 52, 1929, p. 267-280.

BIOLOGIE. — *Nouvelle expérience permettant de disposer du sexe chez quelques* Ichneumonidæ Pimplinæ [1]. Note (*) de M. **Jacques-F. Aubert**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

En cherchant à mieux comprendre le mécanisme suivant lequel le volume d'un hôte naturel ou d'un hôte-piège intervient dans la détermination du sexe chez les Ichneumonides Pimplines, et en cherchant à connaître l'influence éventuelle du cocon, il m'a été possible de mettre au point une technique qui permet, d'une part de disposer à 90 % du sexe des Ichneumonides étudiées, d'autre part d'éclaircir considérablement le phénomène de la détermination du sexe chez ces Insectes.

En effet, j'ai offert à des femelles d'*Itoplectis europeator* Aub. et de *Pimpla contemplator* Müll., de petites chrysalides d'*Ephestia kühniella* Z. de 7-8 mm alternant avec des chrysalides plus grandes atteignant au moins 9 mm de longueur; les chrysalides les plus petites étaient chaque fois disposées au centre d'une grosse boule de coton enveloppée elle-même d'un papier de soie. Inversement, les chrysalides les plus grandes étaient présentées aux parasites enveloppées simplement d'un papier de soie très serré. En d'autres termes, les petites chrysalides étaient entourées d'un volumineux cocon-piège, tandis que les plus grandes étaient présentées aux parasites dans le plus petit appareil possible.

Lors de précédentes tentatives (Aubert, 1959), l'expérience de la boule de coton n'avait donné aucun résultat parce que je plaçais les chrysalides *à la surface* du coton, où elles ne pouvaient être découvertes par le parasite. Ce dernier cherchait toujours à atteindre le centre du faux-cocon et ne parvenait que rarement à toucher par hasard la chrysalide placée en surface, dont il ne pouvait pas déterminer la position.

La nouvelle expérience, par contre, effectuée en plaçant la chrysalide au centre de la boule de coton, a donné des résultats sans précédent, plus démonstratifs que tous ceux obtenus jusqu'ici, même en groupant les hôtes par paquets de 6 (Aubert, 1954, 1959); en effet, les chrysalides les plus grandes, enveloppées simplement d'un papier serré, donnèrent des Ichneumonides mâles, tandis que les chrysalides les plus petites produisirent des Ichneumonides femelles parce qu'elles avaient été entourées d'un volumineux cocon-piège, ceci dans la proportion de 90 %.

Une femelle d'*Itoplectis europeator* Aub. capturée à La Turbie (Alpes-Maritimes) en août 1960, par exemple, pondit alternativement, plus de 50 fois de suite, sans une seule erreur, des œufs fécondés femelles dans les faux-cocons de coton, et des œufs mâles dans les chrysalides dépourvues d'un semblable artifice.

Les descendants femelles sortirent en définitive des chrysalides les plus petites, et les mâles des chrysalides les plus grandes, contrairement au cas normal :

Conclusions. — Les résultats de cette expérience très simple sont nombreux et importants :

1. Nous voyons que la répartition des sexes chez les Pimplines est déterminée essentiellement par un facteur direct, le volume de l'hôte. Il ne s'agit donc pas d'un phénomène indirect comme on pouvait le supposer à la lumière des résultats obtenus jusqu'ici.

2. Le parasite estime le volume global de son hôte, cocon inclus, lorsque l'intérieur est « plein ».

3. Le rôle du cocon est évident.

4. La quantité d'odeur émise par l'hôte n'est pas le facteur déterminant.

5. La dernière expérience effectuée confirme en les complétant, toutes celles qui ont été publiées en 1959; elle confirme entre autres que le parasite est incapable de délimiter un hôte entouré de coton, et incapable également d'en apprécier la taille ou le volume indépendamment de l'ensemble.

6. Il est actuellement possible de disposer du sexe de ces parasites au point de pouvoir renverser artificiellement la répartition normale des sexes, et d'obtenir régulièrement des femelles à partir de petites chrysalides, et des mâles à partir de chrysalides *plus* grandes !

7. La dernière expérience effectuée permet de tromper le parasite et de disposer du sexe de sa descendance dans des proportions jamais encore atteintes.

8. Les résultats obtenus sont suffisamment concluants pour être analysés sans recours à la statistique.

9. Peut-être la simple présence de coton autour de l'hôte a-t-elle permis d'obtenir de meilleurs résultats que le groupement de plusieurs hôtes dans un même papier, du fait que les espaces vides sont supprimés à l'intérieur du cocon-piège rempli de coton.

10. Enfin, cette expérience très simple, réalisée avec un matériel plus restreint et plus économique que les précédentes (le groupement des hôtes par paquets de 6 nécessitait de nombreuses chrysalides), ouvre de nouvelles et multiples possibilités de recherche.

(*) Séance du 1er octobre 1960.

(1) (Hyménoptères, n° 27, *voir* n° 26) *Bull. Soc. ent. Fr.*, 1960; (Macrolépidoptères, n° 18), *Z. Wien. ent. Ges.*, 44, 1960, p. 177-209.

(*Laboratoire d'Évolution des Êtres organisés Faculté des Sciences, Paris.*)

BIOLOGIE. — *Sur la biologie d'un Opilion endogé,* Siro rubens *Latr.* (*Cyphophthalmes*). Note (*) de M. **Christian Juberthie**, transmise par M. Albert Vandel.

Siro rubens Latr., Opilion endogé, vit environ 9 ans, dont 5 à l'état adulte. Son développement se divise en quatre périodes : embryonnaire, larvaire, nymphale et imaginale. La période larvaire est représentée par une larve libre. Les nymphes creusent des logettes de mue et s'y enferment plusieurs mois.

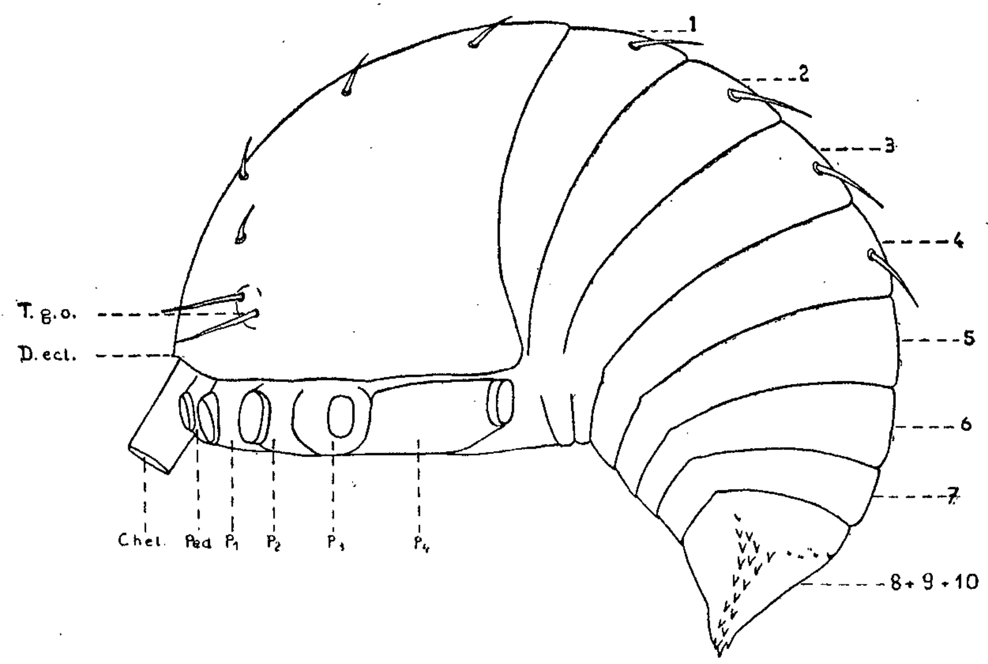
Le développement de plusieurs espèces d'Opilions Palpatores (*Trogulidæ, Nemastomatidæ, Phalangiidæ*) est maintenant connu. Par contre, nous ne possédons aucune donnée sur le développement et les cycles vitaux des Opilions Cyphophthalmes et Laniatores.

Les Cyphophthalmes, qui font l'objet de cette étude, sont considérés comme les Opilions les plus primitifs, tant du point de vue morphologique que chromosomique ([1]). Certains sont endogés, d'autres cavernicoles et, à l'exception des espèces du genre *Stylocellus* West., tous sont dépourvus d'yeux. Nous avons choisi comme type et élevé *Siro rubens* Latr., espèce endogée et aveugle, commune en France ([2]). Les élevages ont été réalisés dans une enceinte ne subissant pas de variations journalières de température mais une variation annuelle allant de 10° en hiver à 17° en été.

La longévité de cette espèce est voisine de 9 ans. La femelle pond chaque année du printemps à l'automne un petit nombre d'œufs (3 à 5 dans nos élevages). Les œufs, isolés les uns des autres, sont toujours déposés dans une anfractuosité du substrat. Ils sont sphériques, de petite taille (0,55 à 0,60 mm de diamètre), enrobés dans une mince couche de mucus; le chorion et la membrane vitelline sont lisses et transparents. La durée du développement embryonnaire est courte, par contre, celle du développement post-embryonnaire est très longue : elle est voisine de 4 ans et la durée de chaque intermue nymphale oscille autour d'une année. La durée de la vie adulte, déterminée indirectement, est de 5 ans environ.

Le développement comprend quatre périodes : embryonnaire, larvaire, nymphale et imaginale. La période larvaire, comparée à celle des autres Opilions déjà étudiés, est bien individualisée. Elle s'étend de l'éclosion à la première mue et dure de 4 à 7 jours à 17°. Elle est représentée par une larve libre qui ne mange pas et qui possède des cœcums encore remplis de vitellus. Dans les heures qui suivent l'éclosion cette larve n'est revêtue que de son propre tégument et la formation de la nouvelle cuticule n'est pas commencée. Ses principaux caractères morphologiques sont les suivants (*fig.*) : deux dents d'éclosion frontales; ébauche des deux poils sensitifs frontaux; yeux absents; tubercules des glandes odoriférantes petits, au même emplacement que chez l'adulte, portant deux poils longs; prosoma non segmenté et à chétotaxie réduite indiquant l'emplacement

des trois derniers tergites (un rang de quatre poils au niveau des tubercules et deux de deux poils chacun plus en arrière); tergites 1 à 7 de l'opisthosoma bien individualisés, les quatre premiers portant chacun deux poils; tergites 8, 9, 10 non individualisés et formant avec les sternites 8 et 9 une masse indivise; anus non formé; sternites 4 à 7 passant sans solution de continuité aux tergites 4 à 7; sternites 2 et 3 individualisés médianement; premier article des chélicères incliné vers le sol; pédipalpe avec une ébauche de griffe et ayant le tarse plus de deux fois plus long que le tibia; griffe des pattes bien formée; processus sensitif des tarses I et II sous forme d'ébauche; solénidions absents; pilosité des pattes réduite; corps à forte convexité dorsale; téguments transparents et lisses sauf celui de la région postérieure indivise qui est plus chitinisé et orné de denticulations. Cette larve se réfugie dans un interstice et mue.



Larve, vue de profil. Chel., Chélicères; Ped., Pédipalpe; P., Patte; D. ecl., Dent d'éclosion; T. g. o., Tubercule de la glande odoriférante.

A chaque stade de la période nymphale, les nymphes présentent un comportement particulier en relation avec le phénomène de la mue. En effet, tandis que pendant les deux premiers tiers de l'intermue, elles vivent avec les adultes dans les interstices du substrat, à faible profondeur, au début du dernier tiers elles utilisent une fissure pour se creuser une cavité qu'elles obturent avec les débris du creusement. Chaque nymphe réalise ainsi une logette dans laquelle elle demeure 4 à 5 mois tout en gardant une mobilité relative. Elle y mue finalement et la nouvelle nymphe (ou le jeune adulte) y abandonne une exuvie intacte à la reprise de la vie libre.

La période imaginale ne semble renfermer qu'un stade; en effet, nous n'avons jamais observé de mue d'adulte.

Conclusions. — Parmi les Opilions étudiés, *Siro rubens* est celui qui vit le plus longtemps; ceci semble plus la conséquence de sa position phylétique que de son mode de vie endogé. Les Opilions présentent donc le même phénomène que les Araignées : les espèces à caractères morpho-

logiques primitifs ont une durée de vie beaucoup plus longue que celles ayant des caractères morphologiques plus évolués.

Siro rubens est le seul Opilion étudié à présenter une larve libre; ceci est dû au fait que l'éclosion se situe à un stade plus précoce du développement. Nous retrouvons chez les Opilions un phénomène identique à celui mis en évidence et étudié chez les Araignées par A. Holm (3) et M. Vachon (4) : l'éclosion ne se situe pas au même moment du développement chez les différentes espèces.

L'absence d'yeux chez les adultes de la plupart des Cyphophthalmes est un phénomène secondairement acquis. L'absence d'yeux chez la larve de *Siro rubens* montre que la réduction de l'appareil visuel est très précoce et résulte d'un processus embryonnaire.

La présence d'une logette de mue chez les nymphes de *Siro rubens* est un phénomène nouveau chez les Opilions et semble lié au mode de vie de cet animal. Notons que cette logette est simple et ne résulte que du creusement d'une cavité et de l'obturation de son ouverture par les débris du creusement. En l'absence d'élevage des espèces cavernicoles du même genre on ne peut affirmer qu'elles se comportent de la même manière bien que cela soit probable. La présence d'une logette de mue chez un animal endogé a déjà été confirmée chez un Isopode par A. Vandel et constitue un phénomène bien connu chez de nombreux cavernicoles : Isopodes (5) et Coléoptères (6).

(*) Séance du 1er octobre 1960.

(1) C. Juberthie, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2860.
(2) C. Juberthie, *Bull. Soc. zool. Fr.*, 82, 1957, p. 331-336.
(3) A. Holm, *Zool. Bidr. Uppsala*, 19, 1940, p. 1-214, 11 planches.
(4) M. Vachon, *Bull. Soc. zool. Fr.*, 82, 1957, p. 337-356.
(5) A. Vandel, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 1538.
(6) S. Deleurance, *Ann. Spéléo.*, 14, 1959, p. 101-110.

(*Laboratoire souterrain du C. N. R. S., Moulis, Ariège.*)

BIOMÉTRIE. — *Définition concrète d'un* « rythme interne » *de variation et de différenciation au sein d'un ensemble évolutif. Application à quelques cas relatifs à des Crustacés Isopodes.* Note (*) de M. **Jean Matsakis**, transmise par M. Albert Vandel.

Dans un ensemble évolutif donné, un rythme commun peut être défini pour un certain nombre de processus différenciateurs évoluant concomitamment. Ainsi : *a.* un ensemble de variations *synchrones* (morphologiques, morphogénétiques, etc.), permet de définir pour chaque terme un degré relatif fixant des positions réciproques au sein d'un groupe; *b.* la confrontation des rythmes permet de sonder les compatibilités entre groupes.

Dans le cadre de recherches portant sur le développement post-embryonnaire et sur l'évolution de la forme chez certains Isopodes, les trois points suivants ont été abordés :

1° Définition du sens et reconnaissance d'un rythme dans l'évolution des dimensions corporelles et des constantes les plus courantes de la croissance linéaire au sein des ensembles évolutifs donnés;

2° Analyse du sens et de la signification de certaines fluctuations secondaires, — partielles et individuelles —, au cours de la croissance;

3° Reconnaissance de certaines lois élémentaires se retrouvant dans maints processus différenciateurs aussi bien ontogéniques que phylogéniques.

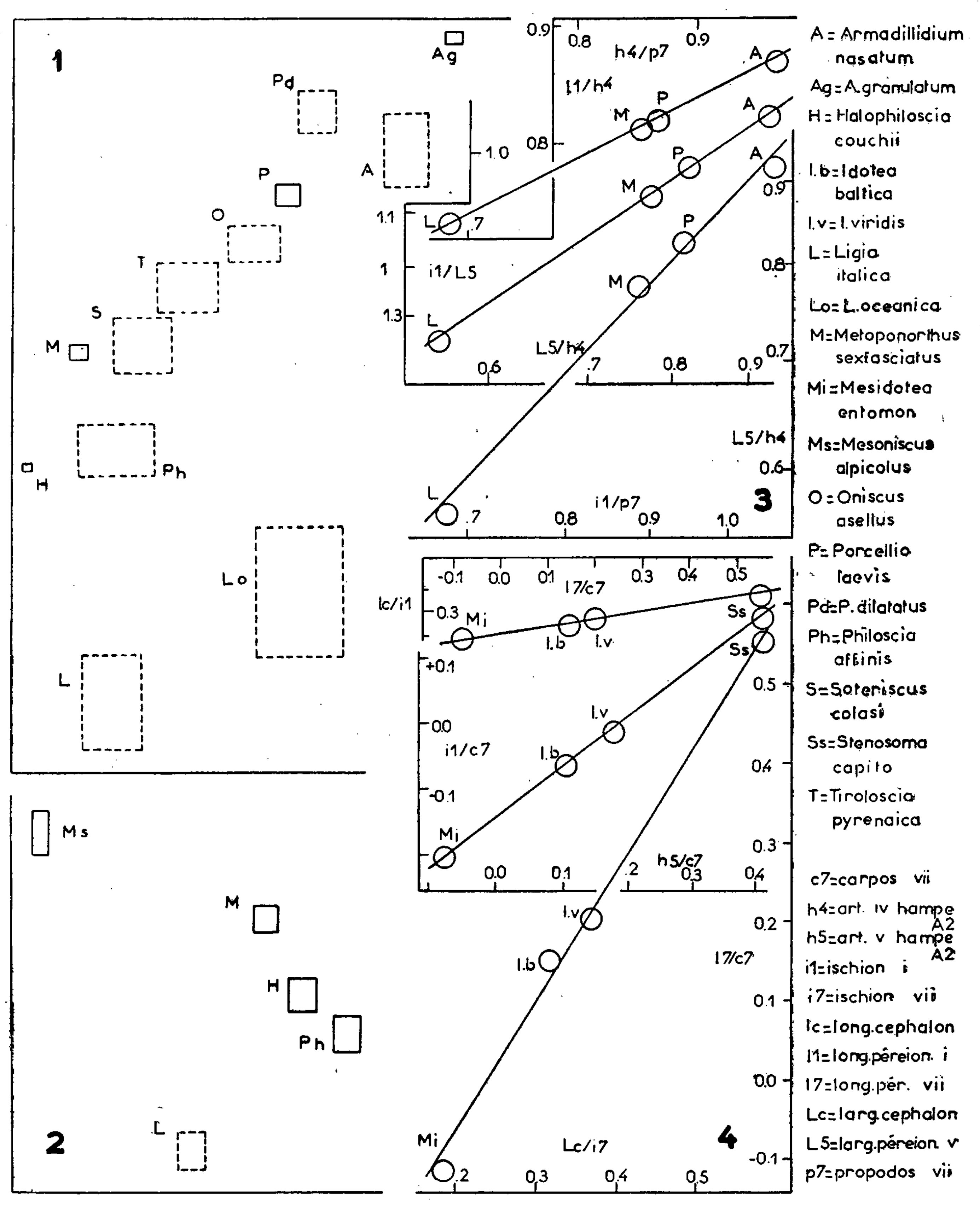
Nous donnons ici l'essentiel des enseignements relatifs au premier point.

Des comparaisons d'ensembles de données numériques portant sur des groupes et séries naturels, principalement sur ceux reconnus par Vandel au sein des Oniscoïdes, ont conduit à des enseignements dont la signification générale transparaît à travers les diverses méthodes essayées. C'est cette signification générale que nous avons cherché à dégager dans cette Note en adoptant des représentations graphiques condensées, mais aussi simples que possible.

Ces comparaisons, techniquement simples, ont porté sur des ensembles de données numériques élémentaires, à savoir sur les dimensions linéaires et la forme générale du corps des individus de situation homologue ou sur les taux d'accroissement relatif, les coefficients d'allométrie, les profils de croissance, etc.; elles ont conduit aux enseignements suivants :

Il est aisé de reconnaître, dans des conditions pratiques définies, et suivant l'échelle de comparaisons choisie, les degrés relatifs d'affinités naturelles et de « voisinage » entre formes zoologiques représentant des espèces ou des genres, des familles ou des sous-ordres [*fig.* (1) et (2)]. Ce degré relatif d'affinité ou de dissemblance qui peut être directement défini avec une approximation satisfaisante par des procédés de comparaison globale, variés et plus ou moins perfectionnés [1], ne représente pas une moyenne artificielle. Il s'est avéré en effet que des variations affectant de multiples caractères obéissent à un rythme commun variant peu et

progressivement dans une série de termes successifs, d'un intervalle phylogénique au suivant. Autrement dit, des rapports pratiquement constants entre taux de variation de multiples processus confrontés deux à deux peuvent apparaître et, dès qu'on considère un nombre suffisant de caractères homologues et leurs variations dans un nombre suffisant de termes (par exemple à partir d'une dizaine de données et de quatre ou cinq espèces différentes et à peu près équivalentes), il se manifeste des sériations signifi-



(1) et (2). Positions relatives d'une série d'Oniscoïdes définies sur la base des rapports arithmétiques entre 12 dimensions corporelles (individus isolés, ♂♂). Les rectangles contiennent *moyenne* et *classe modale* des distances relatives définies par chacun des processus différenciateurs considérés. En trait plein : types-référence; en trait discontinu : termes éprouvés; tests négatifs et positions inconsistantes pour : *Tylos latreillei*, *Helleria brevicornis*, *Armadillo officinalis* et *Cubaris murina*. On voit qu'en (1) il s'agit essentiellement d'une *série*, tandis qu'en (2) on a des branches plus ou moins divergentes et des termes à peu près équidistants de L. (3) et (4), exemples de synchronismes entre processus différenciateurs considérés deux à deux. En (3) il s'agit des coefficients α d'allométrie (croissance postlarvaire, indifférenciés et ♂♂); en (4) logarithmes des rapports simples entre dimensions linéaires (individus isolés, ♂♂).

catives et des synchronismes très serrés, en sorte que des positions devenant vite statistiquement significatives ainsi que des degrés relatifs bien définis et distincts peuvent être établis. Des exemples concrets montrent que des synchronismes multiples et un rythme particulièrement constant se manifestent aussi bien dans des séries dont les termes extrêmes peuvent être parfois séparés par une longue et importante évolution [*fig.*, (1) et (3)] que dans des types zoologiques de niveau voisin et appartenant à des branches ayant amorcé des évolutions divergentes [*fig.*, (2)]. On relève généralement deux ou trois ensembles de processus différenciateurs coordonnés dont un prédominant dans le cas de séries phylétiques.

Le rythme interne de variation ainsi défini nous paraît représenter une notion importante du point de vue évolutif, — notion à vrai dire ayant été déjà largement mais plus ou moins implicitement admise —, en ce sens que sa relative constance et ses modifications lentes et progressives en toutes circonstances au cours de l'évolution constituent une caractéristique fondamentale d'un ensemble zoologique donné, caractéristique ayant l'intérêt d'être facilement accessible à nos comparaisons (dès que le matériel étudié présente des dispositions susceptibles d'être mesurées), et qui permet par elle seule de dresser des classements corrects et de reconnaître aisément les affinités ou les dissemblances naturelles. Ce rythme peut être tenu comme une expression des plus simples de la régulation instituée sur le plan phylogénique.

Nous dirons en conclusion que :

A. Il est évident que l'existence d'un rythme ne s'oppose nullement à une intensité éventuellement importante de variation suivant certaines directions, ni à une plasticité globale. Le rythme rend compte des variations ayant lieu concomitamment et suivant des sens définis dans des organes situés dans toutes les régions du corps; son existence exprime en somme une *tendance constante* à des différenciations orthogénétiques suivant des processus plus ou moins durables et pouvant se relayer en quelque sorte insensiblement les uns les autres.

B. On est ainsi enclin à évoquer des courants modelant l'ensemble du corps, quelles que soient les adaptations et directions d'évolution particulières, et présentant des résultantes isodynames se déplaçant lentement et de façon cohérente, conclusion qui s'oppose à l'idée d'une évolution résultant de variations quelconques se produisant au hasard.

C. Il n'y a aucune raison de penser que de tels rythmes ne puissent être reconnus dans d'autres aspects de variation multiple pouvant faire l'objet de comparaisons quantitatives.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) Un procédé très simple, direct et d'une efficacité satisfaisante a été donné dans une Note de VANDEL et MATSAKIS, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 336.

(*Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences, Toulouse.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude immunochimique des liquides extravasculaires.* Note (*) de MM. **Michel Gleye** et **Georges Sandor**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Alors que le liquide synovial normal du Cheval ne contient pas de composant antigénique étranger au sérum sanguin, les liquides d'ascite cirrhotique contiennent un composant antigénique absent du sérum.

Bien que de nombreuses études immunologiques concernent les liquides extravasculaires, dans la plupart des cas on n'utilise que le sérum antisérum homologue. Or, on ne peut mettre en évidence, avec celui-ci, que

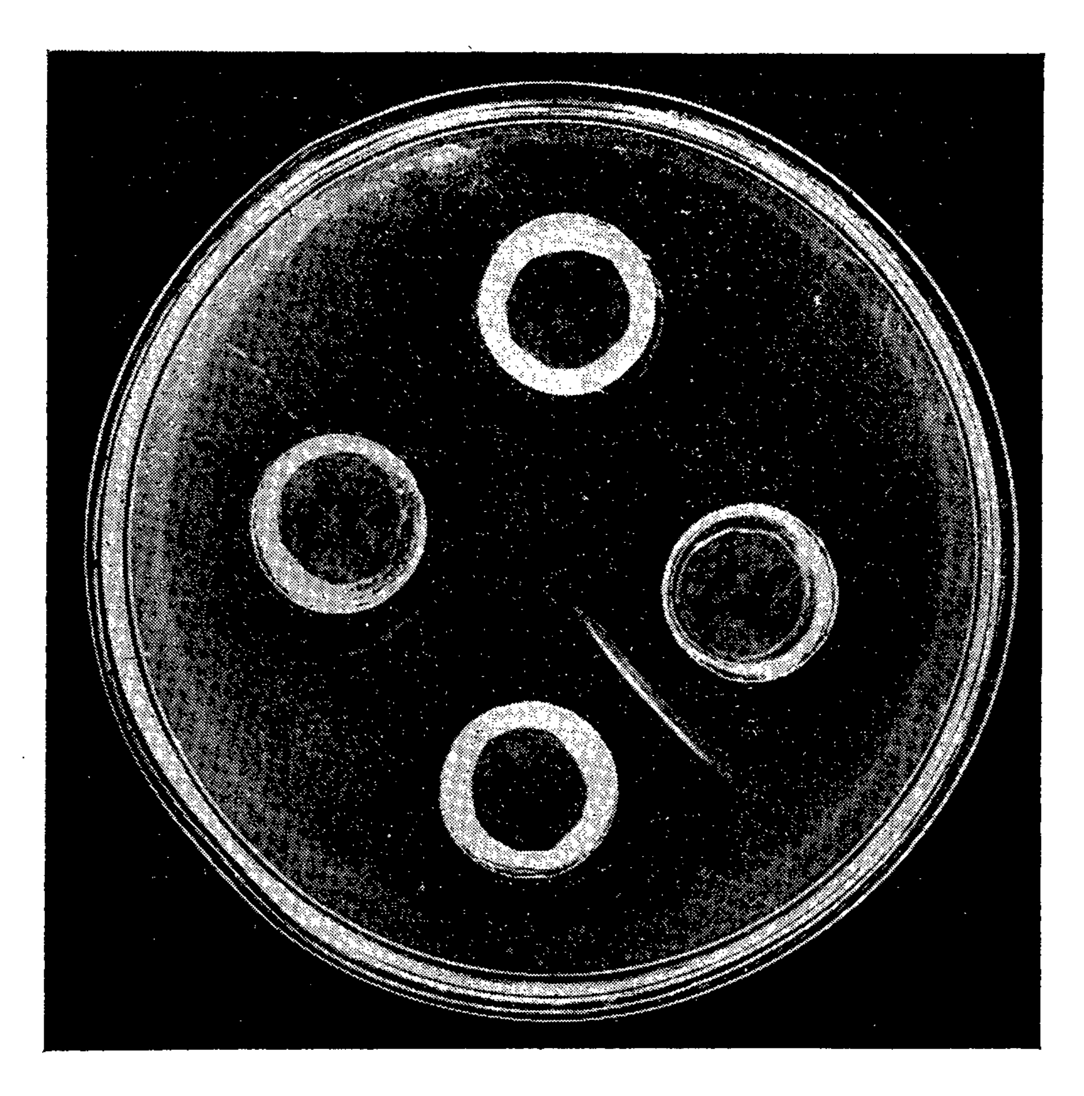


Fig. 1. — Analyse immunochimique du liquide synovial normal de Cheval. Méthode d'Ouchterlony.

Godet de haut : Sérum antiliquide synovial saturé de sérum.
» gauche : Liquide synovial.
» bas : Sérum antisérum saturé de liquide synovial.
» droite : Sérum.

les composants antigéniques du sérum. Aussi avons-nous entrepris cette étude en utilisant parallèlement et les sérums antisérums et les sérums antiliquides extravasculaires.

Dans ce travail nous comparons le liquide synovial de Cheval et le liquide d'ascite cirrhotique aux sérums correspondants. Le liquide d'ascite provient de plusieurs malades présentant une cirrhose éthylique. Nos antigènes ainsi que nos immunsérums sont lyophylisés après une dialyse

rapide contre l'eau distillée. Le schéma suivant de préparation de nos immunsérums nous a toujours donné de très bons résultats : des lapins mâles reçoivent par voie veineuse pendant quatre semaines une fois par semaine une dose élevée d'antigène; après un mois de repos on pratique une injection de rappel, puis on les saigne à blanc huit jours après. L'analyse immunochimique est faite par la technique d'Ouchterlony.

La figure 1 nous montre que le sérum de Cheval sature complètement le sérum antiliquide synovial. Les antigènes du liquide synovial se retrouvent donc dans le sérum sanguin. Sur le même cliché, nous relevons

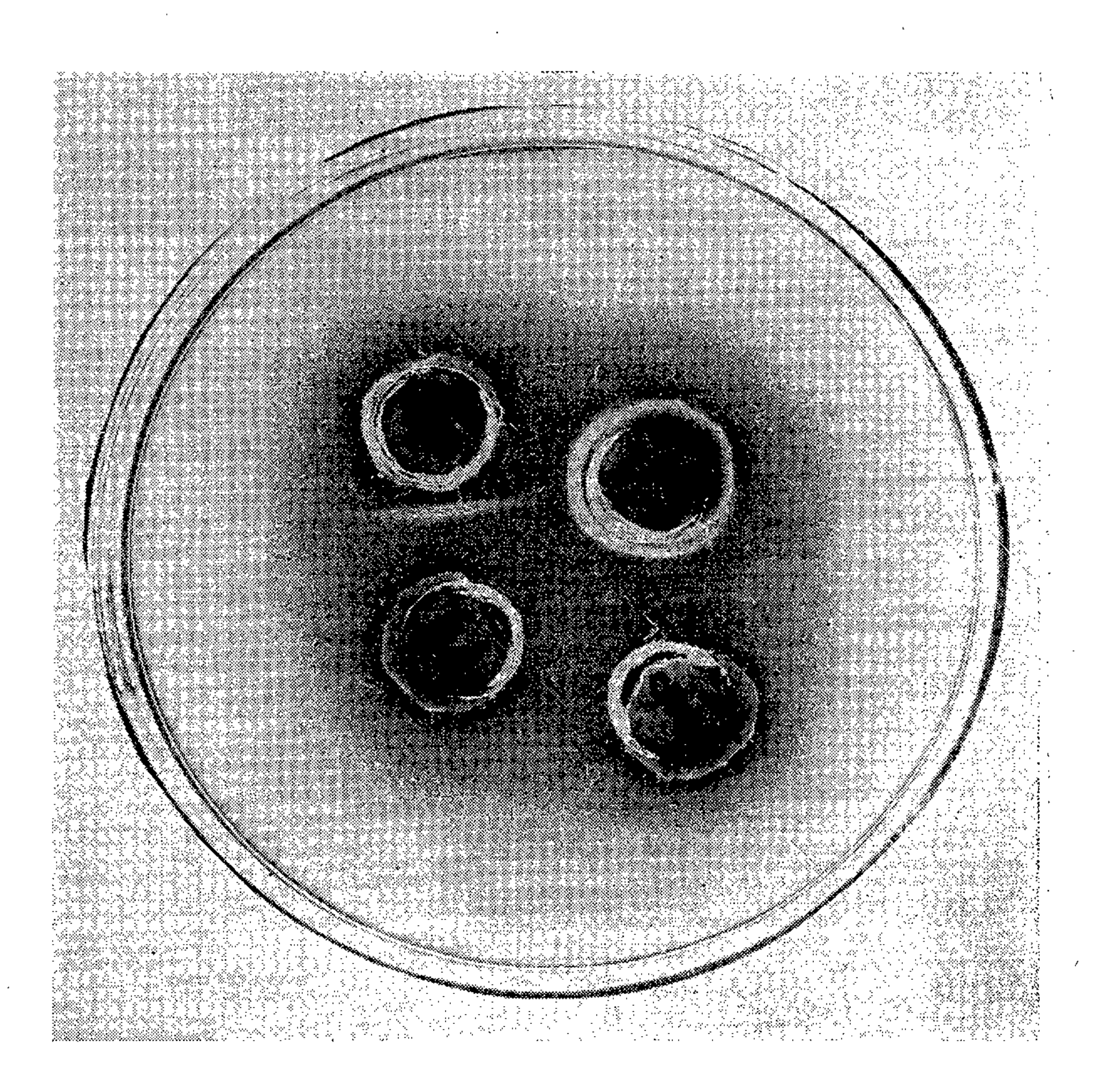


Fig. 2. — Analyse immunochimique du liquide d'ascite cirrhotique de l'Homme. Méthode d'Ouchterlony.

Godet de haut : Sérum antiascite saturé de sérum.
» gauche : Liquide d'ascite.
» bas : Sérum antisérum saturé de liquide d'ascite.
» droite : Sérum normal de l'Homme.

les résultats apparemment contradictoires fournis par l'épreuve complémentaire de saturation du sérum antisérum par le liquide synovial. Un trait de précipitation persiste à l'égard du sérum et l'on aurait pu interpréter ce fait en admettant qu'un composant antigénique du sérum est absent de la synovie. Cependant, on retrouve le même trait de précipitation avec cette dernière. Or, comme nous l'avons montré ailleurs ([1]), ce fait prouve précisément que le composant antigénique en question est présent à l'état de traces dans le liquide synovial. Celui-ci contient donc de son côté tous les composants antigéniques du sérum.

Il en est tout autrement pour le liquide d'ascite. Alors que celui-ci sature complètement le sérum antisérum (*fig.* 2), le sérum ne sature pas

complètement le sérum antiliquide d'ascite. Donc, il existe dans le liquide d'ascite en plus de tous les antigènes présents dans le sérum sanguin un antigène particulier. Nous avons retrouvé ce dernier dans tous les liquides d'ascite cirrhotique étudiés. Il est, par contre, absent du sérum des cirrhotiques qui ne contiennent pas non plus d'anticorps correspondants (*fig.* 3).

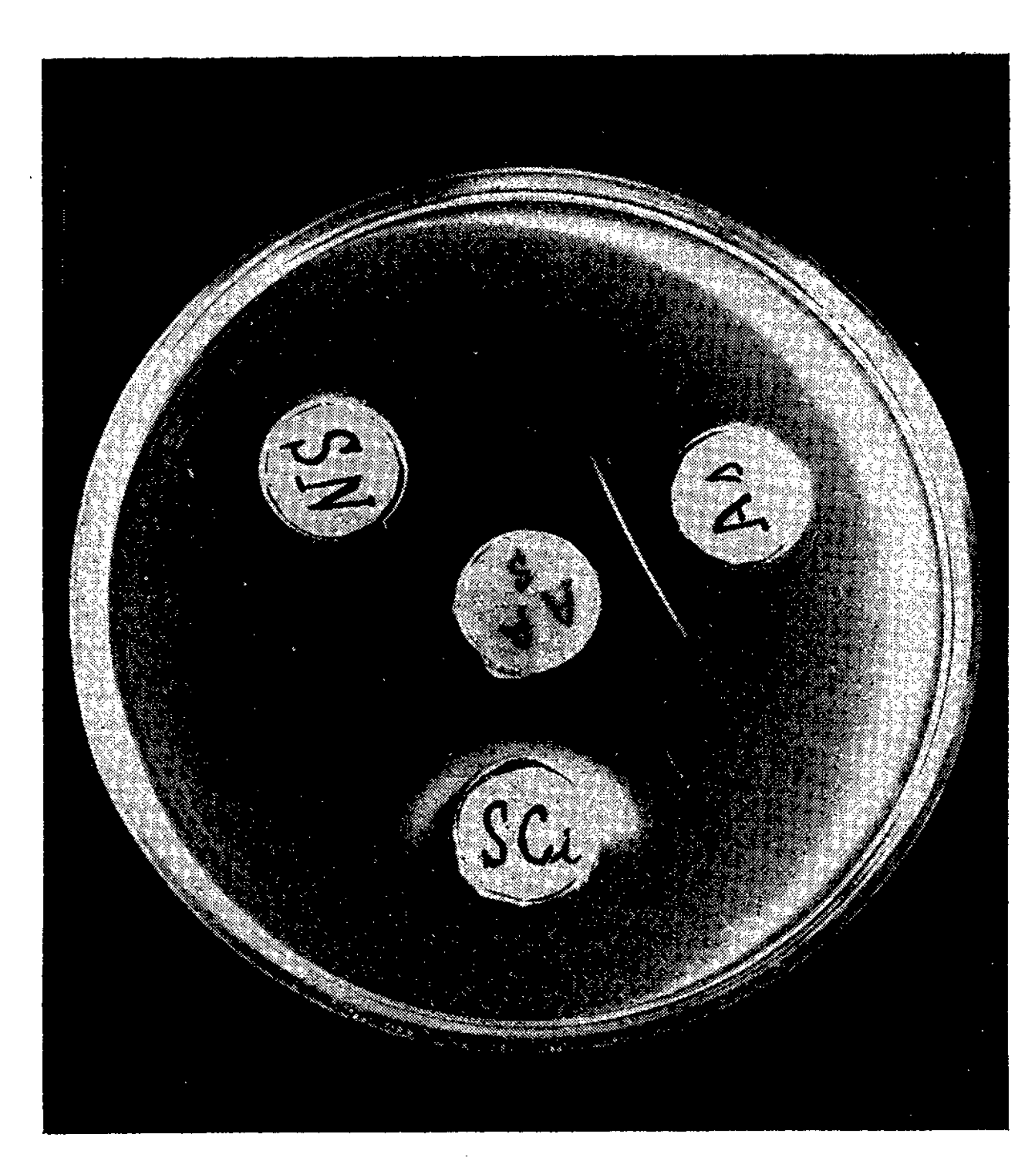


Fig. 3. — Analyse immunochimique du sérum d'un malade atteint de cirrhose alcoolique. Méthode d'Ouchterlony.

Godet du milieu : Sérum antiliquide d'ascite saturé de sérum normal.
Godet de gauche : Sérum humain normal.
» droite : Sérum du malade.
» bas : Liquide d'ascite.

L'identité des motifs antigéniques du sérum de Cheval et du liquide synovial normal de Cheval ne fait que traduire les échanges continuels des protéides entre le milieu vasculaire et extravasculaire; phénomène bien mis en évidence ces dernières années au moyen des techniques de marquage par les isotopes. L'ascite cirrhotique contient par contre un antigène absent du sérum et ce fait suggère l'existence d'un mécanisme remarquablement sélectif qui permet d'éliminer de façon totale l'antigène en question lors du passage des autres composants antigéniques du liquide d'ascite dans le courant circulatoire. De plus l'existence de cet antigène n'est pas en faveur d'une origine purement mécanique du liquide d'ascite, hypothèse communément adoptée.

(*) Séance du 10 octobre 1960.
(1) G. SANDOR et M. GLEYE, *C. R. Soc. Biol.* (sous presse).

PARASITOLOGIE. — *Distomatose cérébrale chez* Diplodus annularis *L.* Note (*) de MM. **Jacques Rebecq** et **Claude Leray**, présentée par M. Louis Fage.

On sait que bon nombre de Poissons marins et d'eau douce constituent des hôtes intermédiaires pour des Trématodes parasites qui, présents à l'état larvaire, évoluent en adultes après ingestion par les prédateurs. Ces formes infestantes sont, pour la plupart des Familles, des kystes métacercariens assez généralement localisés dans les muscles ou moins fréquemment dans les nageoires ou dans le foie. Chez les *Strigeida* Poche la succession larvaire est très sensiblement différente du type classique avec intercalation de stades particuliers antérieurs à la forme infestante (« mésocercaire », par exemple, chez certains Holostomes) ou présence de formes adultes mais immatures chez un hôte dit d'attente (*Codonocephalus*); quant aux formes infestantes elles se présentent elles-mêmes sous des morphologies très particulières (*Tetracotyle*, *Diplostomulum*) hébergées selon les espèces par des Vertébrés ou des Invertébrés et localisées en des points très variables et souvent surprenants : muscles, peau, organes génitaux, système nerveux. A quelques exceptions près les larves strigéides du groupe « *Diplostomulum* » redéfini par R. C. Chester (1929) affectent une prédilection pour des localisations dans les centres nerveux des Vertébrés (cerveau, tissus choroïdiens, yeux). Ces distomatoses nerveuses n'ont jusqu'à présent été signalées que chez des Batraciens et des Poissons d'eau douce dont la liste, importante, ne peut trouver place ici; de plus, G. Rees (1958) dénombre les espèces dont le cycle évolutif complet, comportant le stade *Diplostomulum*, sont connues.

Au cours d'une étude histologique du cerveau de *Diplodus annularis* L. l'attention de M. A. Stahl (Faculté de Médecine, Marseille) fut attirée par la présence de formations étrangères au système nerveux enfermées dans une membrane épithéliale, formations dont il nous a confié l'examen. La présence sur les coupes histologiques de sections à allure de ventouse musculeuse nous a amenés, après essai de reconstitution stéréographique, à conclure à un parasitisme dû à un Trématode du grand groupe des Strigéidés. Cette première conclusion vient d'être confirmée par la découverte à la dissection de kystes libérés par l'ouverture des lobes optiques de trois *D. annularis* sur cinq examinés, récoltés d'une part dans le port de Bonifacio (Corse) (août 1960) et, plus récemment, dans le Golfe de Marseille (septembre 1960). Il convient donc de considérer qu'il s'agit d'une distomatose, fréquente et répandue en Méditerranée et qui, selon l'avis autorisé de G. Dubois (*in litt.*) constitue le seul cas connu chez un Poisson téléostéen marin.

Nous donnons ci-dessous une description très résumée du parasite : kyste libre globuleux de couleur grise de 1 à 1,2 mm de diamètre à paroi mince; ouverture à l'aiguille facile laissant échapper un liquide riche en granulations régulières très semblables à celles comprises dans le système excréteur de la larve qui est affectée de mouvements lents et réguliers. Le parasite, globuleux, de 0,8 mm de diamètre environ, montre à l'extrémité antérieure un cône buccal dont les bords plus ou moins lobés indiquent l'état de la contraction; un renflement postérieur nettement marqué; le corps, qui présente donc deux parties distinctes, l'antérieure étant au moins quatre fois plus longue que la postérieure, observé sous lamelle, en compression modérée, mesure, sur un individu, 1,5 mm de long sur 0,9 mm; la ventouse buccale devient très terminale sous l'effet de la compression (0,1 mm); prépharynx absent; pharynx ovale de 0,8 mm de long; œsophage très court; cæcums rectilignes atteignant approximativement le niveau postérieur de l'organe tribocytique; deux ventouses accessoires latérales de 0,08 mm environ, un peu postérieures par rapport au pharynx; ventouse ventrale plus grande que l'orale (0,2 mm) et située au milieu du corps; organe tribocytique très complexe et fortement contourné dans l'espace avec quatre lobes principaux compris entre la vessie et la ventouse ventrale; système excréteur difficile à observer en détail et comprenant une vessie en forme de V et de nombreuses granulations réparties dans tout le corps.

L'ensemble des caractères morphologiques de cette larve (corps en deux parties, ventouses accessoires latérales) nous permet de la rattacher au groupe *Diplostomulum* Brandes 1892 *emend.* Hughes 1929. L'exception que constitue la présence d'une larve de ce groupe dans le cerveau d'un Poisson marin d'une part et le rapport ventousaire et la lobation de l'organe tribocytique caractéristiques de cette larve d'autre part, nous conduisent à la considérer comme représentant une espèce nouvelle pour laquelle nous proposons le nom de *Diplostomulum stahli.*

Nos recherches en cours, tant sur du matériel vivant que sur des individus fixés, tendent : 1° à compléter ces premières observations sur la morphologie du parasite (en particulier : système excréteur, cavité ventrale, organe tribocytique); 2° à préciser les différentes structures histologiques et les principaux caractères histochimiques; 3° à établir les relations hôte-parasite; 4° à obtenir la forme adulte par développement expérimental; 5° à élucider le cycle biologique de cette espèce.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

VIROLOGIE. — *Utilisation des méthodes de séparation des organites cellulaires pour la purification du virus σ de la Drosophile.* Note (*) de Mme **NADINE PLUS**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Le virus σ perd son pouvoir infectieux quand il est centrifugé en milieu salin; il le garde s'il est sédimenté en milieu sucré sans électrolyte.

Parmi les nombreux travaux consacrés au virus σ, deux seulement, déjà anciens, traitent des propriétés physicochimiques de la particule *in vitro*. Le premier est l'étude de la cinétique de son inactivation par les rayons X. La classique droite à un coup obtenue conduit à attribuer à la particule un diamètre de cible de 42 mμ (N. Plus, 1950) ([1]). La méthode de dosage biologique utilisée est fondée sur la relation liant le nombre d'unités infectantes injectées et le temps d'incubation présenté par les Mouches (N. Plus, 1950) ([2]). Le second travail est une tentative de purification par centrifugation différentielle (F. Hugon de Scœux, 1952) ([3]). Cet auteur a utilisé comme milieu d'extraction et de centrifugation une solution de saccharose 0,88 M et de phosphates inorganiques 0,01 M à pH 7,0. Au cours de ces expériences, deux difficultés ont été rencontrées. Tout d'abord, les extraits de Drosophiles étaient pauvres en virus infectieux; dilués à 10^{-4}, ils ne rendaient généralement sensibles qu'une partie des Mouches injectées. Par ailleurs, l'activité virulente ne se retrouvait que très partiellement dans les culots de centrifugation, les particules paraissant donc présenter la propriété curieuse d'être inactivées par sédimentation. Ces méthodes n'avaient donc pas permis d'obtenir des extraits concentrés mais seulement des suspensions plus propres, débarrassées d'un tiers environ des protéines.

J'ai repris récemment les travaux de purification de Hugon de Scœux en utilisant de nouvelles techniques d'extraction et de centrifugation et en faisant varier les conditions expérimentales. J'ai buté de façon constante contre les deux mêmes difficultés. Il semble bien que la pauvreté en virus des extraits soit une réalité biologique en relation avec l'absence de pathogénicité du facteur σ et non pas la conséquence d'erreurs techniques. Quant à l'inactivation du virus dans les culots, elle s'observe dans tous les milieux essayés, choisis parmi ceux classiquement utilisés en virologie : solutions de Cl Na, de molarité 0,01 à 1,5, diversement enrichies d'ions Mg, Mn, K, Ca, préparés dans des tampons divers de pH 6,5 à 9,3, zone compatible avec l'activité virale. Cette inactivation se retrouve également lors de la centrifugation de virus déjà purifié par précipitation au méthanol. Elle n'est que peu modifiée par les conditions d'élution des culots : composition du milieu, agitation mécanique ou température. Même dans les conditions les plus favorables, 9/10e de l'activité est irrémédiablement perdue par sédimentation.

Cette inactivation des particules virulentes dans les solutions d'électrolytes et les solutions sucrées phosphatées rappelle les altérations subies par les mitochondries dans les mêmes milieux (W. C. Schneider et G. H. Hoge-

boom, 1951) [4]. J'ai donc essayé de préparer les suspensions virulentes en utilisant les méthodes modernes de séparation des organites cellulaires (G. H. Hogeboom et W. C. Schneider, 1955) [5]. Les mouches sont broyées dans une solution de saccharose 0,25 M, isotonique, préparée à l'eau bidistillée, additionnée de 1,5 % de tampon tri-(hydroxyméthyl) aminométhane-ClH 0,05 M à pH 7,45 (milieu de Hogeboom, Schneider et Palade, 1948, modifié). Après élimination des débris de chitine et des noyaux, l'extrait brut (F) est centrifugé 10 mn à 6 000 g. Le culot obtenu (CM), coloré au vert Janus et examiné au microscope à contraste de phase, paraît composé de mitochondries. Le surnageant (SM) est alors divisé en trois fractions qui sont soumises à des centrifugations de 1 h respectivement à 6 000, 20 000 et 60 000 g. Les culots correspondants sont élués chacun dans un très petit volume de solution sucrée, fournissant les fractions C_6, C_{20} et C_{60}. Les trois surnageants, S_6, S_{20} et S_{60}, les culots et les suspensions précédemment obtenues sont analysés pour leur richesse en particules infectantes, en protéines et en acide ribonucléique (ARN). Les tests d'infectivité, tout d'abord, montrent que la fraction mitochondriale CM n'est pas infectieuse. Corrélativement, SM est aussi actif que l'extrait brut F. De plus, le virus est absent dans les surnageants S_{20} et S_{60} alors que S_6 conserve environ 1/4 de l'activité. Quant aux culots, ils sont tous les trois nettement plus actifs que la fraction SM du départ et ne paraissent pas avoir subi d'inactivation. La teneur relative en protéines de C_6 et C_{20} est environ 20 fois moindre que celle de l'extrait brut. Ils ne contiennent pas de quantité significative d'ARN. Le culot obtenu à 6 000 g, C_{60}, contient, par contre, la totalité de l'ARN et représente, par conséquent, les microsomes.

Il résulte de ces premiers essais, que le virus σ peut être isolé et concentré par centrifugation différentielle, à condition d'utiliser les techniques appropriées à la purification des organites cellulaires. Au cours des centrifugations, il paraît centrifuger moins vite que la masse des mitochondries mais plus vite que les microsomes. En effet, la fraction mitochondriale CM n'est pas infectieuse tandis que le culot C_{20}, obtenu avant la sédimentation des microsomes, renferme par contre toute l'activité.

Les propriétés de la particule σ rapportées ici sont fort différentes de celles des virus classiquement étudiés, mais il est encore trop tôt pour en comprendre la signification et l'importance. De nouvelles expériences sont en cours et l'on peut espérer que les observations au microscope électronique et les analyses chimiques éclaireront ce problème.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

[1] N. Plus, *Comptes rendus*, 231, 1950, p. 192.

[2] N. Plus, *Exp. Cell. Res.*, 1, 1950, p. 217.

[3] F. Hugon de Scuœx, *Rev. Can. Biol.*, 2, nº 1, 1952.

[4] W. C. Schneider, *Cancer Res.*, 2, nº 1, 1951; G. H. Hogeboom et W. C. Schneider, *The nucleic acids*, vol. 2, 1955, p. 205.

[5] G. H. Hogeboom, W. C. Schneider et G. E. Palade, *J. Biol. Chem.*, 172, 1948, p. 619.

(*Laboratoire de Génétique formelle du C. N. R. S., Gif-sur-Yvette, Seine-et-Oise.*)

VIROLOGIE. — *Action d'un interféron provenant de cellules malignes sur l'infection expérimentale du Hamster nouveau-né par le virus du polyome.* Note (*) de MM. **Pascu Atanasiu** et **Charles Chany**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Un inhibiteur préparé à partir d'une cellule maligne de lignée continue, inoculé chez le Hamster nouveau-né avant le virus du polyome, prolonge la survie et retarde l'apparition de la tumeur.

L'étude du phénomène de l'autoinhibition du *Myxovirus parainfluenzæ III* dans les cellules KB d'origine maligne, a conduit à la mise en évidence, dans ces cultures, de substances inhibant les différentes fonctions virales ([1]), ([2]). Parmi ces substances, l'une rappelle par certains de ses caractères biologiques et par son action intracellulaire l'interféron décrit par Isaacs et Lindenmann ([3]). Comme l'interféron, cette substance est séparable du virus par ultracentrifugation et, transférée sur cellules neuves de première explantation, inhibe la multiplication intracellulaire de virus antigéniquement distincts.

L'action protectrice possible de ces substances contre l'infection virale *in vivo* a été l'objet de ce travail.

Le modèle d'étude utilisé a été l'infection expérimentale à virus du polyome chez le Hamster nouveau-né; cet animal ne présente pas d'infection spontanée ou latente par ce virus.

L'inhibiteur a été préparé, à partir de cellules Po Ha, de lignées continues provenant de tumeurs induites par le virus du polyome chez le Hamster ([4]) d'après les techniques déjà décrites ([1]), ([2]), ([3]). Ce choix a été motivé par la spécificité d'espèce de l'interféron [Tyrell ([5])] et par l'absence de particule infectieuse du virus du polyome décelable dans cette lignée cellulaire. Cinq séries d'expériences ont été réalisées, utilisant des lots d'inhibiteurs différents. Au total 52 animaux nouveau-nés ont été divisés en trois groupes :

1. 19 animaux témoins ont reçu 0,20 ml de suspension contenant 100 000 DI 50/ml infectieux de virus, inoculé par voie sous-cutanée.

2. 5 animaux ont reçu 0,20 ml de la préparation contenant l'inhibiteur seul.

3. 28 animaux ont reçu la même quantité de la préparation contenant l'inhibiteur que ceux du groupe 2, suivie 16 à 24 h après, de l'administration de la même quantité de virus que ceux du groupe 1.

L'âge des animaux au départ de chaque expérience variait entre trois et cinq jours. Les résultats des expériences montrent que :

1° Tous les animaux inoculés avec le virus du polyome ont été infectés, ont présenté une ascension significative des anticorps sériques

TABLEAU I.

Action de l'inhibiteur produite par les cellules PoHa *sur la tumeur induite par le virus de polyome chez le Hamster nouveau-né.*

N° exp.	Traitements.	Nombre animaux.	Age (jours).	tumeur / animaux (*****).	Ascension I. H. (*).	Poids moyen fin exp. (g).	Survies moyennes (jours).	Observations.
I.	H. I. V. (**)	6	4	0/6	+	130	200	-
	H. V. (***)	5	3	4/4	+	-	25	1 dévoré
	H. I. (****)	3	3	0/3	0	106	200	-
II.	H. I. V	4	5	1/3	+	100	90	2 dévorés
	H. V	2	5	2/2	+	110	72	-
	H I	2	5	0/2	0	105	160	-
III.	H. I. V	6	5	1/6	+	138	160	-
	H. V	4	5	2/3	+	-	65	1 dévoré
IV.	H. I. V	6	5	2/5	+	76	108	1 dévoré
	H. V	3	5	2/3	+	105	80	-
V.	H. I. V	9	3	6/8	+	62	70	1 dévoré
	H. V	7	4	7/7	+	47	42	-

(*) I. H. : Anticorps inhibant l'hémagglutination.
(**) H. I. V. : *Hamsters* traités par l'*inhibiteur + virus*.
(*** H. V. : *Hamsters* recevant le *virus* seul.
(****) H. I. : *Hamsters* témoins *inhibiteurs*.
(*****) Numérateur : Animaux présentant des tumeurs. Dénominateur : Animaux inoculés.

inhibant l'hémagglutination (I. H.) et ont développé rapidement des tumeurs entraînant la mort.

2° Les animaux ayant reçu l'inhibiteur seul n'ont développé ni anticorps contre le virus, ni tumeurs.

3° Les animaux traités par l'inhibiteur avant l'inoculation du virus du polyome n'ont présenté que peu de tumeurs et plus tardivement que les témoins du groupe 1, malgré une ascension comparable des anticorps I. H.

L'action de l'inhibiteur est évaluée en comparant dans les groupes 1 et 3 :

a. Les temps de survie moyens des animaux : 47 jours $\pm$ 6 contre 88 jours $\pm$ 5 (pour le calcul on se réfère au délai de survie maximum de l'expérience la plus courte).

b. L'incidence des tumeurs : 17/19 dans le groupe témoin contre 10/28 dans le groupe traité.

c. Les dates d'apparition des tumeurs : de 7 à 125 jours dans le groupe 1 contre 30 à 200 jours dans le groupe 3.

Conclusions. — Les préparations inhibitrices utilisées prolongent la survie des animaux et diminuent le taux des tumeurs ou retardent leur apparition d'une façon significative. Certains animaux ainsi inoculés avec le virus et l'inhibiteur, actuellement en observation, ne présentent pas de tumeurs visibles après plus de 200 jours alors que les animaux témoins, ayant reçu le virus seul, sont morts avec des tumeurs histologiquement vérifiées 28 jours en moyenne après l'inoculation (exp. I.).

On peut émettre l'hypothèse que l'inhibiteur rappelant l'interféron réduit la multiplication des particules responsables de l'action oncogène en dessous d'un certain niveau critique, retardant considérablement l'apparition des tumeurs et prolongeant la survie des animaux. Il est également possible que les préparations non purifiées utilisées renferment d'autres facteurs susceptibles d'influencer le développement des tumeurs.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) C. CHANY, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3903.
(2) C. CHANY, *Virology* (sous presse).
(3) A. ISAACS et J. LINDENMANN, *Proc. Roy. Soc. Biol.*, 147, 1957, p. 258-267.
(4) P. ATANASIU, expériences non publiées.
(5) D. A. J. TYRELL, *Nature*, 184, 1959, p. 452-453.

IMMUNOLOGIE. — *Action d'immunsérums de Lapin antiextraits végétaux sur la germination de la graine de* Phaseolus vulgaris. Note (*) de MM. **Michel Saint-Paul** et **Jean Bidault**, présentée par M. René Dujarric de la Rivière.

Les sérums de Lapin préparés contre les extraits aqueux et alcooliques de graines de *Phaseolus vulgaris* exercent une action inhibitrice sur la germination de cette graine. Cette action se retrouve avec des sérums préparés contre différentes substances, en particulier contre l'acide gibbérellique. Les résultats de ces expériences peuvent être rapprochés de la présence, dans ces graines, de gibbérellines et de substances mitotiques.

Landsteiner a découvert, en 1907, dans les extraits aqueux de graines de *Phaseolus vulgaris*, une hémagglutinine non spécifique active sur les globules rouges d'Homme et d'animal. Plus récemment, les propriétés biochimiques et immunologiques de ces extraits ont fait l'objet de nombreuses publications (1). D'autres propriétés physiologiques des extraits de graines de Haricot ont également été démontrées : ils exercent une action dépressive sur l'intestin isolé de Lapin et de Cobaye (2); ils contiennent des gibbérellines (3) et un facteur favorisant la mitose des leucocytes de l'Homme (4).

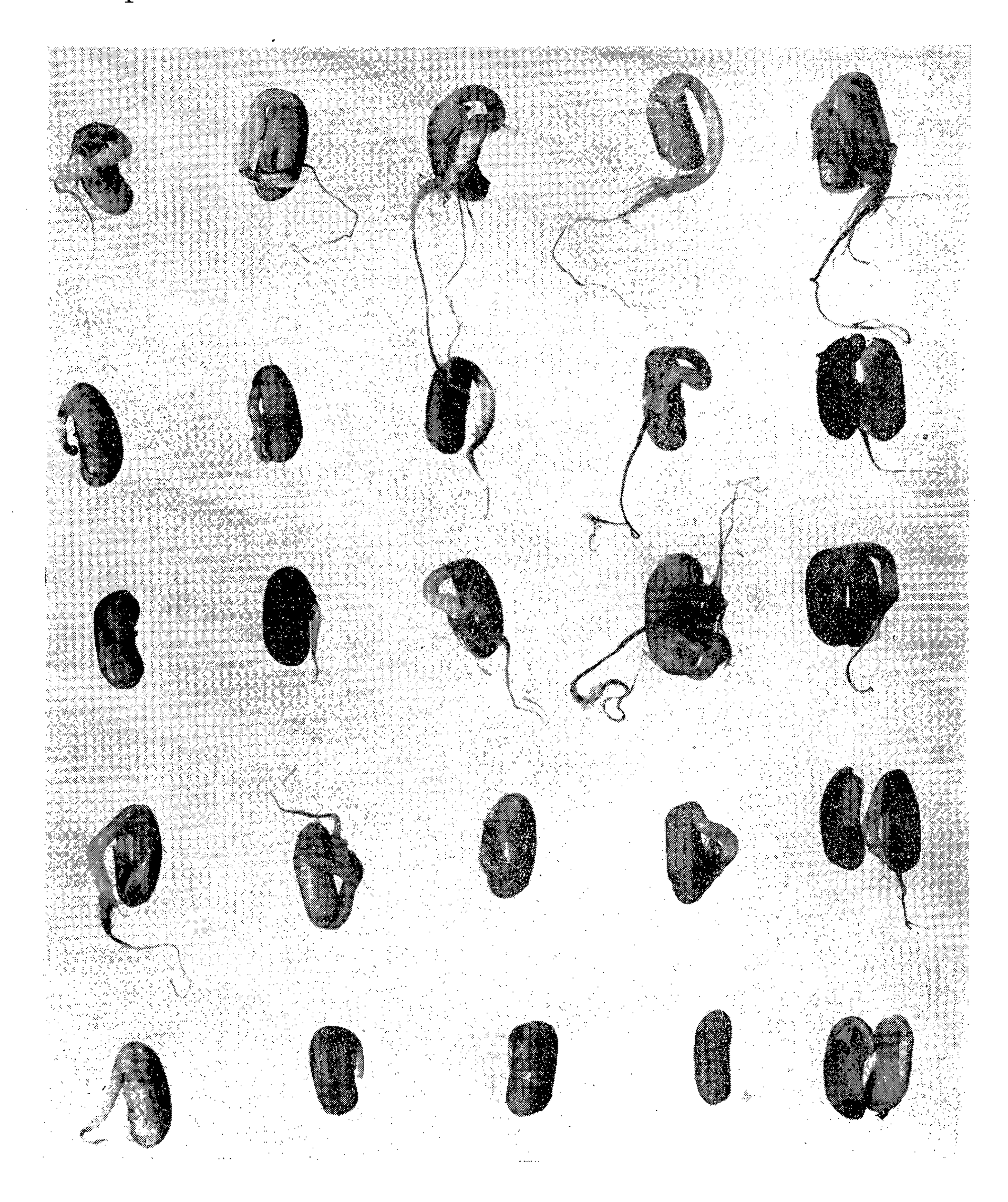
Nous rapportons ici des expériences où nous avons essayé, par l'immunophysiologie, de préciser ces différentes actions et de rechercher leurs rapports entre elles. Dans ce but, nous avons recherché l'action de 34 sérums de Lapin préparés contre différents extraits de graines de *Phaseolus vulgaris*, sur la germination de cette graine, en comparaison avec celle d'autres immunsérums préparés contre des antigènes d'origine végétale, animale et l'acide gibbérellique.

Nous avons sectionné la cuticule de graines de Haricot (Flageolet Roi des Verts) dans la partie convexe de la graine, afin de permettre un meilleur contact du liquide à étudier en évitant les filtrages épidermiques et de ne pas blesser l'embryon qui se trouve placé près du hile. Après un trempage de 18 h dans le sérum à étudier, les graines ont été mises en germination dans des germinateurs isothermes à 20° sous humidité constante (98 %), roulées dans du papier buvard, conformément aux prescriptions internationales pour les essais de semences.

Chaque sérum a été étudié à trois concentrations : pur et dilué au 1/10e et au 1/100e dans l'eau physiologique. Chaque expérience a été faite au moins deux fois et des témoins multiples ont été préparés avec des sérums divers, de l'eau physiologique et de l'acide gibbérellique.

Une expérience a été schématisée sur la photographie ci-jointe où, pour des raisons de clarté, on n'a représenté que cinq graines de quelques séries caractéristiques au 5e jour. Les graines sont rangées par séries horizontales, de haut en bas. Les séries ont été traitées avec : 1° de l'eau

physiologique; 2° du sérum de Lapin normal; 3° du sérum de Lapin antiglobules rouges humains; 4° du sérum de Lapin antijus de Pomme; 5° du sérum de Lapin antiextrait aqueux de graine de *Phaseolus vulgaris*. Les sérums utilisés pour les graines photographiées n'avaient pas été dilués et la dernière graine de chaque rangée a été ouverte afin de permettre de voir la plantule.



Les résultats peuvent se résumer ainsi : le sérum antiextrait aqueux de graine de Haricot non dilué diminue fortement le nombre des graines germées ainsi que la taille des plantules. Le retard est d'au moins 24 h pour des germes de quatre jours. Cette action inhibibitrice du sérum pur se retrouve, un peu plus faible, avec le sérum dilué au 1/10e, alors que le sérum dilué au 1/100e est à peu près dénué d'activité. Le sérum anti-Pomme a un effet légèrement inhibiteur. Le sérum anti-Prune, pur, a un effet toxique annulant presque complètement la germination; il est au

contraire stimulant quand il est dilué. Les sérums de Lapin normal et les sérums antiglobules rouges humains ont une très légère action dépressive s'ils sont employés purs, mais sont inactifs aux dilutions de 1/10e et 1/100e. Le sérum antiextrait alcoolique de graine de Haricot a un fort effet inhibiteur, s'il est pur; cet effet est moins marqué s'il est dilué. L'effet du sérum antiglobules rouges de Mouton ayant fixé l'hémagglutinine est semblable, mais moindre. Le sérum antiacide gibbérellique annule presque entièrement la germination s'il est employé pur; dilué, il a un effet nul ou légèrement stimulant. Ce très fort effet inhibiteur a été observé avec les sérums purs de tous les lapins que nous avons préparés contre l'acide gibberellique lui-même ([5]), alors que celui des sérums préparées contre le sel de potassium de cet acide ([6]) n'a pas été trouvé dans tous les sérums.

Signalons que, sauf pour les sérums antiglobules rouges, les titres antiglobules d'Homme et de Mouton de tous les sérums étaient faibles et n'ont pas été influencés par les immunisations. Avec les extraits aqueux de graines de Haricot, les réactions de précipitation interfaciale ont été positives avec les sérums correspondants ainsi qu'avec un sérum antiextrait alcoolique de Haricot, négatives avec les autres sérums. Avec l'acide gibbérellique et son sel de potassium, elles ont été négatives.

Les sérums de lapin antiextraits aqueux et alcooliques de graine de *Phaseolus vulgaris* inhibent donc la germination de cette graine. La substance inhibitrice n'a pu encore être isolée. Peut-être s'agit-il d'un anticorps actif sur certaines parties ou composants de la graine, par exemple d'un facteur antimitotique correspondant au facteur favorisant la mitose, présent dans les extraits, où d'une substance antigibbérellique, comme peut le faire penser l'identité d'action des sérums antiacide gibbérellique et des sérums antigraine de Haricot et la présence de gibbérellines dans ces graines, ou d'un autre facteur. On sait aussi que les gibbérellines, qui agissent en général en provoquant un allongement des cellules, peuvent aussi, au niveau des méristèmes ordinaires, dans certains cas, stimuler les mitoses ([7]). Des expériences en cours tenteront de montrer dans quelle mesure on peut rapprocher et vérifier ces différentes hypothèses.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) M. SAINT-PAUL, *Revue générale*, à paraître dans *Transfusion*, 1960.

(2) M. SAINT-PAUL, F. DAOULAS-LE BOURDELLÈS et J. JACOB, *Ann. Inst. Pasteur*, 93, 1957, p. 602.

(3) R. BÜNSOW, J. PENNER et R. HARDER, *Naturwissenschaft*, 45, 1958, p. 46.

(4) P. C. NOWELL, *Cancer Research*, 20, 1960, p. 462.

(5) P. CHOUARD, *Revue horticole*, 1958, p. 1793.

(6) Acide gibbérellique « Eli Lilly and Co », États-Unis.

(7) « *Gibrel* » *Merck*, États-Unis.

IMMUNOLOGIE. — *Formation d'anticorps antiribosomes chez les lapins immunisés à l'aide de ribosomes de lapin.* Note (*) de MM. **Jacques Panigel** et **Emanoil Barbu**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Les lapins immunisés à l'aide de ribosomes de foie de lapin forment des anticorps capables de précipiter des ribosomes d'origines les plus diverses.

Les ribosomes préparés à partir de tissus animaux, et notamment de lapin, réagissent et forment des précipités spécifiques avec les antisérums obtenus par immunisation de lapins à l'aide de ribosomes bactériens d'origines diverses ([1]).

Nous étudions ici les résultats d'expériences effectuées avec les antisérums préparés par immunisation des lapins à l'aide de ribosomes de foie de lapin.

Au cours de cette étude, nous avons utilisé les mêmes méthodes que précédemment ([1]), ([2]), ([3]) et notamment, le dosage de l'acide ribonucléique (ARN) dans les précipités spécifiques. Il convient de souligner à ce propos que la présence d'ARN constitue un véritable « marquage » de l'antigène utilisé : le dosage de l'ARN permet en effet de déterminer de façon rigoureuse dans chaque cas la quantité d'antigène précipité et d'en déduire la quantité d'anticorps combiné à cet antigène. Les protéines des précipités spécifiques sont dosées selon Lowry et coll. ([4]).

Les ribosomes de foie de lapin, isolés par une méthode voisine de celle de Hamilton et Petermann ([5]) sont purifiés par plusieurs précipitations successives à l'aide d'acétate de barium. Les préparations sont mises en suspension dans un tampon phosphate 0,001 M pH 7,4 contenant $MgSO_4$ 0,0005 M. Elles sont relativement stables dans ce milieu, mais présentent dans les solutions salines physiologiques une instabilité particulière.

Ces ribosomes contiennent environ 45 % d'ARN et 55 % de protéines : les densités optiques présentent un minimum caractéristique à 2 330 Å (rapport 2 600/2 330 = 1,4) et le maximum habituel à 2 600 Å (rapport 2 600/2 800 = 1,75).

Nous avons préparé trois antisérums par immunisation intraveineuse de lapins à l'aide de ces ribosomes de foie de lapin (sérums n°s 67, 72 et 94).

Le tableau I indique les résultats obtenus lorsque des préparations de ribosomes sont mises, en concentration variable, en contact avec 1 ml d'immunsérum.

On voit d'après ces résultats que les quantités d'ARN précipité varient très sensiblement selon le type de ribosomes utilisés. Ainsi nos sérums antiribosomes de foie de lapin précipitent beaucoup mieux certains ribosomes bactériens (surtout ceux d'*E. coli, de Salmonella* et de *Proteus*) que les ribosomes de foie de lapin eux-mêmes. Mais ces derniers peuvent

TABLEAU I.

Ribosomes.	N° du sérum.	Microgrammes d'ARN présents dans le mélange.	Microgrammes d'ARN dans le précipité spécifique.	Microgrammes de protéines dans le précipité spécifique.	% d'ARN précipité.
Foie de Lapin	67	40	5	45	12,5
	»	75	9	76	12
	»	112	4	–	3,6
	72	40	4	29	10
	94	30	3	–	10
E. coli B	67	35	23	200	66
	72	35	16	85	46
	94	35	11	–	31,5
E. *coli* K_{12}	67	30	18	–	60
	»	96	42	210	44
	»	143	11	48	8
	72	30	8	–	27
	»	104	12	114	11,5
	94	30	8	–	27
Salmonella typhimurium	67	20	11	–	55
	72	20	7	–	35
	94	20	9	–	45
Proteus vulgaris	67	29	13	–	45
	72	29	4	–	14
	94	29	11	–	38
Welchia perfringens	67	35	3	35	8,5
	72	35	5	30	14
	94	35	3	–	8,5
Streptocoque A_{23}	67	22	1,5	–	7
	72	22	1	–	4,5

être précipités à un taux plus élevé par les sérums antiribosomes bactériens et notamment par les sérums antiribosomes de *E. coli*, que par les sérums antiribosomes de foie de lapin : par exemple, en ajoutant à 1 ml de sérum 92 antiribosomes de *E. coli* K_{12} une préparation de ribosomes de foie de lapin contenant 30 μg d'ARN, on retrouve dans le précipité spécifique 26 μg d'ARN soit 87 % de l'ARN des ribosomes; 1 ml de sérum 88 antiribosomes de *Welchia perfringens* précipite, dans les mêmes conditions, 35 % des ribosomes de foie de lapin tandis que nos sérums de lapin antiribosomes de foie de lapin ne précipitent dans ces conditions, que 10 à 12 % de ces mêmes ribosomes.

Ces résultats, qui concernent essentiellement les complexes précipitants sans exclure l'existence éventuelle de complexes solubles appellent un certain nombre de remarques :

1° Les sérums de lapins préparés à l'aide de ribosomes de foie de lapin précipitent un pourcentage élevé de ribosomes d'origine bactérienne; un animal peut donc s'immuniser contre des antigènes hétérologues à l'aide d'antigènes homologues.

2° Le fait que des lapins préparés à l'aide de ribosomes de foie de lapin produisent des anticorps précipitant ces ribosomes prouve que ces animaux ne présentent pas une tolérance immunitaire totale vis-à-vis des ribosomes homologues. Ce résultat s'accorde avec nos expériences antérieures qui nous avaient permis de montrer qu'un lapin, immunisé à l'aide de ribosomes bactériens, produisait des anticorps susceptibles de précipiter ses propres ribosomes de foie ou de rein ainsi que ceux d'autres lapins.

3° Les antigènes vis-à-vis desquels le lapin ne présente pas de tolérance immunitaire sont communs aux ribosomes d'origines les plus diverses.

4° Les ribosomes de diverses origines présentent des pourcentages de précipitation différents vis-à-vis d'un même immunsérum : nous ne pouvons encore décider si ces différences tiennent à la structure (proportion ou disposition variables d'un antigène commun) ou à l'état de dissociation de ces ribosomes.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) J. PANIJEL et E. BARBU, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 232.

(2) E. BARBU, J. PANIJEL, P. CAYEUX et R. WAHL, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 338.

(3) E. BARBU et J. PANIJEL, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1382.

(4) O. H. LOWRY, N. J. ROSENBROUGH, A. L. FARR et R. J. RANDALL, *J. Biol. Chem.*, 193, 1951, p. 265.

(5) M. G. HAMILTON et M. L. PETERMANN, *J. Biol. Chem.*, 234, 1959, p. 1441.

(*Institut Pasteur, Paris.*)

A 15 h 35 m l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 16 h.

R. C.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

OUVRAGES REÇUS PENDANT LES SÉANCES DE SEPTEMBRE 1960.

(*Suite et fin.*)

Oukraïns'ka radians'ka enciklopedija (*Encyclopédie ukrainienne*). Tome I : *A. — Bogounci*. Kiev, Académie des sciences de l'Ukraine, 1959; 1 vol. 26,5 cm.

Association scientifique des pays de l'Océan indien (P.I.O.S.A.). *Répertoire des principales organisations scientifiques de l'Océan indien*. II. *Indonésie;* III. *Thailand*. Tananarive, 1960; 2 fasc. 23,5 cm.

Académie royale des sciences d'Outre-mer. *Atlas général du Congo*. Index 726. *Carte des centrales hydroélectriques* et *Notice de la carte des centrales hydroélectriques*, par P. GEULETTE. Bruxelles, 1960. 1 carte 72,5 × 62 cm et 1 fasc. 36 cm (en langues française et flamande).

Constitutional science. Theory, Law, Therapy, by YOSHIO OKAHARA. Tokyo, Research Institute of constitutional science, 1960; 1 fasc. 26 cm.

Current bibliography for aquatic sciences and fisheries. Vol. III. Compiled by F. A. O. Fisheries biology branch. Published by permission of the Food and agriculture organization of the United Nations. London, Taylor and Francis Ltd, 1960; 1 vol. 21,5 cm.

Institut interuniversitaire des sciences nucléaires. Monographie n° 7. *Formal theory of scattering phenomena. A study of recent achievements in modern scattering theory* (based upon notes taken during seminars organized by S. B. TREIMAN, professor at the University of Princeton, U. S. A.), by C. C. GROSJEAN. Bruxelles, 1960; 1 vol. 23 cm.

Oak Ridge national Laboratory. *Revision sheet for the trilinear chart of nuclides*, by WILLIAM H. SULLIVAN. Oak Ridge, issue n° 7, May 1960; 1 feuillet 28 cm.

The University of the State of New York. The State education department. New York State Museum and Science service Geological Survey. *Map and chart series*. N° 1. *Correlation of the silurian rocks in New York State*, by DONALD W. FISHER. Albany, 1960; 1 carte 94 × 71 cm.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 24 OCTOBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

M. **André Danjon** rend compte des travaux de la Conférence Générale des Poids et Mesures qui a tenu cinq séances du 11 au 20 octobre, sous la présidence du Président de l'Académie, au Centre des Conférences internationales du Ministère des Affaires Étrangères. La création, au Pavillon de Breteuil, d'une Section des radiations ionisantes, chargée de la conservation des étalons internationaux de radioactivité et des divers rayonnements, ainsi que de la comparaison des étalons nationaux a été décidée. La définition d'un nouvel étalon du mètre, en préparation depuis une douzaine d'années, a été promulguée sous la forme suivante :

Le mètre est la longueur égale à 1650 763,73 *longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveau* $2p_{10}$ *et* $5d_5$ *de l'atome de krypton* 86.

Le rattachement de la seconde à la durée de l'année tropique, décidé en 1956 par le Comité International habilité par une délégation de pouvoirs de la Conférence Générale (1954) a été entériné. L'examen d'un projet de modification de la Convention du Mètre (1875-1921) a été ajourné et le projet a été renvoyé pour une nouvelle étude au Comité International des Poids et Mesures.

DÉCÈS DE MEMBRES ET DE CORRESPONDANTS.

M. le **Président** annonce le décès, survenu à Valence, Drôme, le 21 octobre, de M. **Albert Pérard** et celui de M. **Paul Fallot**, à Paris, le 22 octobre. Il invite l'Académie à se recueillir en silence pendant quelques instants, en signe de deuil.

Les allocutions d'usage seront lues en l'une des prochaines séances par M. **André Danjon**, sur M. **Pérard** et par M. **Charles Jacob**, sur M. **Fallot**.

NOTICES NÉCROLOGIQUES.

Notice nécrologique sur PIERRE CHEVENARD (*),

par M. **ALBERT PORTEVIN**.

PIERRE-ANTOINE-JEAN-SYLVESTRE CHEVENARD, né en 1888 à Thizy (Rhône), entra, dès sa sortie en 1910, major de l'École des Mines de Saint-Étienne, à la Société de Commentry Fourchambault et Decazeville (depuis Société Métallurgique d'Imphy) où il poursuivit toute sa carrière, depuis la direction du laboratoire des Aciéries d'Imphy qu'il prit en 1911, jusqu'à en devenir directeur scientifique en 1935.

Aussi on peut dire que la renommée acquise par cette Société dans le domaine de la Métallurgie fine est éclairée et illustrée par le nom de Chevenard.

Son œuvre scientifique peut d'ailleurs être présentée en manière de triptyque :

1° Métallurgie de précision et alliages spéciaux;

2° Enseignement et pénétration de la science dans l'industrie;

3° Outillage et construction des appareils de laboratoire.

C'est ainsi que nous allons l'envisager.

1. *Alliages spéciaux et métallurgie de précision.* — Poursuivant la voie inaugurée par Charles-Édouard Guillaume avec l'invar et l'élinvar, il s'attache d'abord à exploiter tout le domaine offert par les propriétés physiques des alliages de nickel, alliages auxquels il demeura d'une fidélité exemplaire jusqu'au jour où nous l'en avons détourné pour qu'il manifeste les ressources de l'analyse dilatométrique différentielle et sa fertilité en l'appliquant aux alliages légers d'aluminium trempants puis aux fontes.

Mais une autre voie dans laquelle il a montré toutes ses qualités d'expérimentateur et de créateur est celle des alliages résistant à chaud, apportant au domaine des turbines à gaz et de la chimie des hautes pressions et températures élevées, la solution des problèmes qui ont déterminé des progrès industriels considérables inaugurés par les synthèses actuelles. La réussite sensationnelle de ces alliages, en permettant la réalisation des procédés Georges Claude, leur procura une éclatante publicité.

C'est à cet ensemble qu'il a donné le nom, qui demeure, de *métallurgie de précision*, dont il fut à la fois précurseur et créateur.

2. *Enseignement et diffusion de la science dans l'industrie.* — Quand on parle de l'enseignement de Chevenard, ce n'est pas tant les leçons verbales, abondamment illustrées d'appareils et d'expériences aux Écoles des Mines de Saint-Étienne et de Paris, qu'on a en vue, mais surtout son rôle et

son action dans l'usine et parmi le personnel de celle-ci, de cette diffusion, de cette pénétration des connaissances et de la méthode scientifique, qui renouvelle complètement l'esprit des contremaîtres et des ouvriers, et qu'il se plaisait à appeler si justement « l'imprégnation scientifique ».

En cela il s'est montré disciple de Henry Le Chatelier et de Fayol :

Henry Le Chatelier, le précurseur et l'apôtre de la recherche scientifique et de l'organisation par application de la méthode cartésienne et qu'on oublie peut-être un peu trop en notre époque actuelle où un si grand nombre et avec tant d'abondance proclament la fécondité, pour ne pas dire la nécessité de la recherche et de l'organisation industrielles.

Fayol, autre champion de la Recherche et de l'Organisation dans l'Industrie qui distingua Chevenard et lui confia le poste qu'il créa pour lui en lui traçant le programme des fonctions qu'il devait illustrer avec tant d'attachement et de dévouement.

Sous cet aspect, Chevenard a accompli une véritable œuvre sociale qui peut et doit être donnée en exemple.

3. *Outillage et construction d'appareils de laboratoire.* — Mais le domaine dans lequel Chevenard a manifesté le plus toute la fécondité de son invention et de l'originalité de son talent est celui de la conception et de la construction des appareils de laboratoire, dans lequel ses créations sont universellement connues et ont porté son nom dans tous les pays.

Chevenard a, par ses appareils, tellement facilité, tellement répandu l'emploi de certaines méthodes thermophysiques que, comme cela arrive fréquemment, son nom est passé de l'appareil à la méthode même et, pour beaucoup, sert à désigner cette méthode : ainsi en est-il pour la méthode dilatométrique et la méthode thermopondérable, grâce à son dilatomètre différentiel et à sa thermobalance.

C'est aussi le domaine où se reflètent et dans lequel sont gravées ses qualités personnelles, exactitude, fidélité, ingéniosité, simplicité et sensibilité.

Sa renommée mondiale se trouve consacrée par de nombreux titres :

Président de la Société de Physique, Président de la Société astronomique de France, Président de la Société de l'Industrie minérale, du Cercle d'Études des Métaux de Saint-Étienne (qu'il avait créé), Fondateur, Président et lauréat de la grande médaille Osmond, de la Société française de Métallurgie, Président de la Commission scientifique de l'IRSID, Membre correspondant du Conseil de l' " Institute of Metals ", Commandeur de la Légion d'honneur. Il fut enfin, en 1946, appelé à faire partie de l'Académie des Sciences, dans la Division des Applications de la Science à l'Industrie, dont il était particulièrement représentatif.

Sa participation essentielle à tous les congrès de métallurgie, de chronométrie, en France et à l'étranger, fait de lui une des figures les plus caractéristiques de la France dans ces manifestations scientifiques.

En terminant ces lignes adressées à la mémoire d'un très cher et intime ami, auquel me liait une fervente collaboration attestée par une trentaine de publications communes, je dois faire effort pour comprimer une émotion qui trouve son expression dans cette phrase d'une des dernières lettres (1910) que j'ai conservée d'Osmond, le grand maître de la Métallographie :

« Si c'est un privilège de vieillir, surtout quand on conserve la santé, on le paie par le chagrin de voir partir l'un après l'autre les compagnons de sa vie »,
phrase qui trouvera écho en ces jours-ci parmi beaucoup de nos confrères.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

Le **Recteur de l'Université de Paris** invite l'Académie à désigner l'un de ses Membres qui fera partie du Conseil d'administration du **Palais de la Découverte** pour une nouvelle période triennale, en remplacement de M. *Albert Caquot*, dont les pouvoirs sont expirés mais qui est rééligible.

L'Académie est informée du cinquième **International symposium on free radicals**, qui se tiendra à Upsala, Suède, les 6 et 7 juillet 1961.

L'Ouvrage suivant est présenté par M. **René Dujarric de la Rivière** : Robert Worms. *L'infection staphylococcique.*

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *The Royal Society. Its origins and founders.* Edited by Sir Harold Hartley.

2° Jardin botanique de l'État (Bruxelles). *Flore générale de Belgique,* publiée sous la direction de Walter Robyns. *Spermatophytes.* Volume III. Fascicule III, par André Lawalrée. *Alchemilla,* par N. Sougnez et André Lawalrée.

3° *Acción antiblástica experimental de la dietileno-imino*-2'5, *dipropil-oxi*-3'6 *benzoquinona* (E-39), par Luis Felipe Ramírez Calderón (Thèse, Valence, Espagne).

4° *The Library of the Hungarian Academy of sciences.* 1826-1961.

5° Académie des sciences de Lithuanie. Bibliothèque centrale. *Lietuvos TSR Mokslu Akademijos darbuotoju straipsniu bibliografija.* 1945-1954.

6° Id. Commission d'histoire des sciences naturelles et techniques. *Iš mokslu istorijos Lietuvoje* (*Sur l'histoire des sciences en Lithuanie*). I.

7° Academia Republicii populare Romîne. *Sclerozele pulmonare,* par N. Gh. Lupu, C. Velican, C. Racoveanu et M. Gociu.

8° Id. Biblioteca de geologie și paleontologie. VI. *Neogenul din bazinul transilvaniei*, par A. VANCEA.

9° Id. Institutul de geologie și geografie. *Monografia geografica a Republicii populare Romîne*. II. Partea I. *Geografia economica pe ramuri* et *Anexe*.

10° Institut royal des sciences naturelles de Belgique. Service de documentation de sciences naturelles. *Liste des périodiques africains de la Bibliothèque*.

11° *Philippine abstracts*. A quarterly classifield summary of the latest Philippine publications in the field of applied science. Volume I, n° 1.

12° *Archive for history of exact sciences* (Berlin). Volume I, n° 1.

13° *The quarterly journal of the Royal astronomical Society*. Vol. I, n° 1.

PRÉSENTATIONS.

Dans la formation d'une liste de candidats à la Chaire d'ethnologie des hommes actuels et des hommes fossiles du Muséum national d'histoire naturelle, pour la première ligne, M. *Jacques Millot* obtient 51 suffrages contre 4 à M. *Robert Gessain;* il y a un bulletin blanc.

Pour la seconde ligne, M. *Robert Gessain* obtient 50 suffrages; il y a 2 bulletins blancs.

En conséquence, la liste présentée à M. le Ministre de l'Éducation nationale comprendra :

En première ligne...................... M. **JACQUES MILLOT**.
En seconde ligne....................... M. **ROBERT GESSAIN**.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

TOPOLOGIE. — *Exemples de semi-espaces de Banach.* Note de M. **Maurice Fréchet.**

On va montrer que l'espace des courbes rectifiables orientées et l'espace des courbes continues orientées peuvent être considérés comme des semi-espaces de Banach (au sens de notre Note précédente), sans être en même temps des espaces de Banach.

Rappel. — Dans notre Note précédente [1], nous avons adopté des définitions qui paraissent naturelles pour la somme, la norme, le produit par scalaire et l'élément neutre, relatifs à une famille $\mathcal{F}$ de courbes continues orientées et à une paramétrisation intrinsèque, p, des courbes de $\mathcal{F}$.

Nous avons, alors, indiqué que si le système Σ composé du couple $(\mathcal{F}, p)$ et de ces quatre définitions, satisfait à certaines conditions A, B, C, D, précisées dans la Note précédente [1], il satisfait aux axiomes de Banach, sauf peut-être aux axiomes

3° $(\xi + \xi_1) + \xi_2 = \xi + (\xi_1 + \xi_2)$;

4° $\xi + \xi_1 = \xi + \xi_2$ *entraîne* $\xi_1 = \xi_2$.

En outre : si Σ ne vérifie pas 4°, il ne peut vérifier 3°.

Deux exemples. — Nous allons donner deux exemples de tels systèmes et montrer que ni l'axiome 4°, ni par suite 3°, ne sont vérifiés par toutes les courbes de chacun de ces deux systèmes.

Premier exemple. — Prenons pour $\mathcal{F}$ la famille des courbes rectifiables orientées et pour p la paramétrisation, évidemment intrinsèque, obtenue en prenant pour paramètre d'un point M d'une courbe rectifiable orientée, ξ, de longueur L,

$$t = \frac{s}{L},$$

où s est l'abscisse curviligne $s = \widehat{AM}$ de M, comptée à partir de l'origine A de ξ.

I. *Le système Σ correspondant* vérifie les conditions A, B, C, D; donc, d'après ce qui précède, *il vérifie les axiomes de Banach, sauf peut-être les axiomes* 3° *et* 4° *cités ci-dessus.*

II. *Le même système Σ ne vérifie, ni l'axiome* 4°, *ni, par suite, l'axiome* 3°, comme le montre le contre-exemple suivant :

Soit $A_1N_1B_1N_2$ un rectangle de centre θ dont les côtés ont pour longueurs $A_1N_1 = 8$, $A_1N_2 = 4$ et soit $\overline{AB}$ un vecteur porté sur la droite N_2N_1 ayant pour milieu θ et une longueur triple de celle du segment N_1N_2.

On appellera ξ le vecteur $\overline{AB}$ et ξ_1, ξ_2 les angles orientés $\widehat{A_1N_1B_1}$ et $\widehat{A_1N_2B_1}$.

On montre alors que

$$\xi + \xi_1 = \xi + \xi_2 \quad \text{et tandis que} \quad \xi_1 \neq \xi_2.$$

Ainsi l'axiome 4° n'est pas vérifié par le système Σ actuel et, par suite, 3° non plus.

Deuxième exemple. — Soit $\mathcal{C}$ la famille de toutes les courbes continues orientées.

Nous avons indiqué autrefois, en 1925 ([2]), un mode de représentation paramétrique intrinsèque applicable à toutes les courbes de $\mathcal{C}$. Prenons-le pour p. On peut alors établir pour le système Σ correspondant les mêmes propriétés I et II que pour le premier exemple. A cet effet, on utilisera un contre-exemple analogue au précédent, sauf que le vecteur $\overline{AB}$ aura la longueur $5/3\, N_1N_2$ (au lieu de $3\, N_1N_2$).

Remarque. — I. En 1936, Marston Morse a défini une intéressante paramétrisation intrinsèque ([3]) des courbes continues orientées, tout à fait distincte de la nôtre. On démontre facilement que le système Σ correspondant satisfait aux conditions A, B, C, D et par suite que *c'est un troisième exemple effectif de semi-espace de Banach.* La proposition I précédente s'étend donc à ce troisième exemple. Notre but principal étant atteint par les deux premiers exemples, il ne nous a pas paru nécessaire de retarder cette Note pour prendre le temps d'étendre la proposition II au système Σ de M. Morse. Il serait cependant intéressant de voir ce qui en est.

II. Si, pour une famille $\mathcal{F}$, de courbes continues orientées, on connaît *deux* paramétrisations intrinsèques p_1, p_2, on peut former *une infinité* de paramétrisations intrinsèques pour la famille $\mathcal{F}$. Soient, en effet, les valeurs t, τ des paramètres correspondant à un point M de la courbe ξ de $\mathcal{F}$ dans p_1 et p_2 et soient deux nombres p, q tels que

$$p \geqq 0, \qquad q \geqq 0, \qquad p + q = 1.$$

Alors $pt + q\tau$ est évidemment un paramètre intrinsèque pour le point M, dans $\mathcal{F}$.

([1]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1258.

([2]) *J. Math. pures et appl.*, 4, 1925, p. 281-297; *Comptes rendus*, 179, 1926, p. 806 et *Proc. Intern. Math. Congress*, Toronto, 1925, p. 415-418.

([3]) *Bull. Amer. Math. Soc.*, 42, 1936, p. 915-920. Un exposé analogue a été fait par M. Morse aux pages 100-103 de son Ouvrage : *Topological methods in the theory of functions of a complex variable*, 1947.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur un continu d'opérations fonctionnelles linéaires.* Note de M. **Marcel Coz**, transmise par M. Georges Bouligand.

L'étude du continu d'opérations fonctionnelles linéaires en vue de modèles euclidiens pour métriques variationnelles fait apparaître une propriété d'inclusion des variétés linéaires images et une condition de prolongement analytique, sans que ce continu soit un demi-groupe de transformations.

La présente Note prolonge une étude comparée entreprise par M. G. Bouligand à propos d'une famille continue d'*opérations fonctionnelles linéaires* introduites tantôt par des métriques variationnelles, tantôt par la théorie des fonctions harmoniques en usant d'un processus type Dirichlet (¹). Les modèles étudiés correspondent au choix de demi-cônes convexes de sommet O, dans la région $z \geqq 0$ par l'entremise d'intégrales $z = J(x, y)$ déduites des demi-cônes générateurs

$$z = K_n(x, y; t) \equiv [|x \cos t|^n + |y \sin t|^n]^{\frac{1}{n}} \qquad (n \geqq 1)$$

convexes quel que soit t. On intègre par rapport à $f(t)$, mesure croissante, d'où

$$(1) \qquad J(x, y) = \operatorname{int}(0, 2\pi)\, K_n(x, y; t)\, df(t) \qquad \text{en bref} \quad J = T_n f.$$

On désigne par $\overline{J}$ la restriction de J sur le cercle unité.

1. Parmi les $\overline{T}_n$ précédentes, on retient $\overline{T}_1$, $\overline{T}_2$ et leur limite uniforme $(\overline{T})$ pour n infini qui s'écrit

$$\overline{T} = 4 \operatorname{int}\left(0, \frac{\pi}{2}\right) \{|\cos(\theta - t)| + |\cos(\theta + t)|\}\, df(t).$$

Les équations $\overline{T}_1 f = \overline{J}$ et $\overline{T} f = \overline{J}$ se résolvent aisément. Pour $\overline{T}_2$, j'ai obtenu le résultat suivant :

La fonction $\overline{J}$ étant donnée, pour que l'équation intégrale $\overline{J} = \overline{T}_2 f$ admette une solution $f(t)$ croissante, il faut et il suffit que $\mathcal{H}^{-1} \mathcal{L}^{-1} F(\Theta)$ soit une fonction définie positive dans R^2.

Les notations $\mathcal{H}^{-1}$, $\mathcal{L}^{-1}$ désignent les inverses des transformées d'Hankel et de Laplace et l'on pose

$$\Theta = \operatorname{tg}\theta, \qquad |\Theta| F = \frac{d}{d\Theta}[\sqrt{1 + \Theta^2}\, J(\Theta)].$$

Les fonctions définies positives dans R^2 sont rappelées dans (²).

2. Une méthode de type Volterra, légitimée par compacité au passage du polygone fini au contour quelconque m'a permis de comparer les variétés linéaires $\bar{J}_n(\theta, f)$ correspondant à l'ensemble des $f(t)$ croissantes. Pour deux exposants (N, n) avec $N > n$, on a l'inclusion $\bar{J}_n(\theta, f) \subset \bar{J}_N(\theta, f)$.

Aux noyaux $K_n(\theta, t)$, on peut substituer leur développement de Taylor autour de $a \geqq n/2$. Si l'équation $\bar{J}_n = \bar{T}_n f$ admet une solution f (croissante ou à variation bornée), on pourra tirer du développement de K_n un développement de $\bar{J}_n(\theta)$ et une fonction $\bar{J}_n(h, \theta)$ avec $h = n - a$,

$$\bar{J}_n(h, \theta) = \bar{J}_n(\theta) = \sum (m\,!)^{-1} h^m \operatorname{int}(0, 2\pi)\, K_{(a)}^{(m)}(t, \theta)\, df(t).$$

D'où une condition de prolongement analytique pour une solution de $\bar{J} = \bar{T}_n f$:

Il faut et il suffit que $\bar{J}(\theta)$ *soit le prolongement analytique* $\bar{J}(\theta, h)$ *d'une fonction* $\bar{J}(\theta, 0) = J'$ *telle que l'équation* $J' = \bar{T}_a f$ *ait une solution* f.

Tels sont les motifs légitimes de rapprochement.

3. Au-delà, pour montrer que la similarité ne se prolonge pas, prenons un ensemble plus large de transformations de type intégral. A tout contour convexe représenté par $1/r = K(\cos\theta, \sin\theta)$ associons les transformations $T_k f$,

$$T_k f = \operatorname{int}(0, 2\pi)\, K(\cos\theta \cos t, \sin\theta \sin t)\, df(t) \tag{2}$$

en imposant à $f(t)$ d'être non décroissante (ou à variation bornée) sur $[0, 2\pi]$. A propos des $T_k f$, notons que les fonctions $K(\cos\theta, \sin\theta)$ liées à des contours convexes ont des développements de Fourier uniformément convergents. Même propriété pour les développements tayloriens obtenus en exprimant les $\cos n\theta$, $\sin n\theta$ en $\cos\theta$, $\sin\theta$. Donc les noyaux K des transformations (2) peuvent être approchés *uniformément* par des puissances de $\cos\theta \cos t \sin\theta \sin t$. Les transformations (2) limites uniformes de transformations de rang fini sont donc *complètement continues* [3]. Elles sont de plus, à noyau symétrique et de type positif en vertu de l'inégalité

$$\operatorname{int}(0, 2\pi)\, df(\theta) \operatorname{int}(0, 2\pi)\, K(\cos\theta \cos t, \sin\theta \sin t)\, df(t) \geqq 0. \tag{3}$$

Le noyau K est compris entre deux bornes m et M positives quels que soient (t, θ). Le premier membre de (3) est positif quel que soit f, d'où l'inégalité précédente. Il en résulte que toutes les valeurs propres de T_k sont *réelles* et *positives*.

Je dis que deux transformations (2) ne peuvent se composer suivant une autre transformation (2) sauf en deux cas précis et que pour cette raison on ne peut inclure les $T_n f$ dans des demi-groupes. D'abord, fait connu, deux transformations symétriques positives se composant en donnent une autre de ce type [4]. Le résultat négatif annoncé découle des

développements uniformément convergents des noyaux K_1 et K_2. Ayant intégré le produit des développements de K_1 et K_2 entre $(0, 2\pi)$, on n'a que deux possibilités pour un développement de K_3 en puissances de $(\cos u \cos t, \sin u \sin t)$.

1° K_1, K_2 sont tous deux des monomes du même type, à savoir :

$$a_1 \cos^m \theta \cos^m t \sin^n \theta \sin^n t, \qquad a_2 \cos^m \theta \cos^m \theta \sin^n t \sin^n t;$$

2° K_1, K_2 sont tous deux de la forme

$$\frac{1}{2} a_0^i + \sum (a_n^i \cos n\theta \cos nt + b_n^i \sin n\theta \sin nt) \qquad (i = 1, 2).$$

En excluant la première éventualité de *réduction* à des monomes de même genre dont la réalisation est immédiatement vérifiable, la condition nécessaire et suffisante de composition est le couple d'égalités

$$\operatorname{int}(0, 2\pi)\, K(\cos\theta \cos t, \sin\theta \sin t) \cos n\theta \, d\theta = C_n \cos nu \qquad (\text{resp. } \sin n\theta, \sin nu).$$

Elle n'est pas vérifiée pour les noyaux T_n. En particulier, l'égalité suivante est impossible :

$$\operatorname{int}(0, 2\pi) [\,|\cos\theta \cos t|^n + |\sin\theta \sin t|^n]^{\frac{1}{n}} [\,|\cos\theta \cos u|^m + |\sin\theta \sin u|^m]^{\frac{1}{m}} d\theta$$
$$= [\,|\cos u \cos t|^p + |\sin u \sin t|^p]^{\frac{1}{p}}.$$

Non seulement, on ne peut avoir $T_n \circ T_m = T_{n+m}$ mais encore on n'aura pas $T_n \circ T_m = T_{g(m,n)}$ avec g fonction de (m, n).

Une synthèse au moyen du demi-groupe (loi associative) et *a fortiori* du semi-groupe (loi en outre simplifiable) ne peut donc convenir à la famille T_n.

La notion de famille de transformations avec inclusion et prolongement analytique est plus large que celle de semi-groupe, demi-groupe ou même de groupoïde (loi de composition interne) analytiques.

(1) G. Bouligand, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2701.
(2) Ky Fan, *Mém. Sc. math.*, fasc. 114, 1950, p. 24.
(3) F. Rietz et B. Nagy, *Leçons d'analyse fonctionnelle*, 2e éd., p. 200.
(4) F. Rietz et B. Nagy, *Ibid.*, p. 242.

Observations sur la Note de M. Marcel Coz, par M. **Georges Bouligand**.

La Note précédente écarte une intervention de *demi-groupes*, que j'avais envisagée (1). En outre, la méthode suivie pour atteindre ce résultat délimite étroitement les cas où ayant renoncé à l'hypothèse d'associativité, il s'agirait d'une *loi de composition interne* librement choisie.

(1) G. Bouligand, *Bull. Acad. Roy. de Belgique*, 54, 1958, p. 645.

THÉORIE DES FONCTIONS. — *Sur les restes et les dérivées des séries de Taylor.* Note (*) de M. **Michel Pommiez**, présentée par M. Paul Montel.

Amélioration de l'encadrement d'une constante. Remarque sur les constantes de Whittaker et de Gontcharoff. Relations entre la croissance de $f(z)=\sum_{k=0}^{\infty} a_k z^k$ supposée entière d'ordre $\rho > 0$ et les valeurs $f_n(z_n)=\sum_{k=0}^{\infty} a_{n+k} z_n^k$, où $|z_n| \leqq n^{\frac{1}{\rho}}$.

1. Soit $f(z)$, holomorphe dans le cercle unité et (z_n), une suite de points tels que $|z_n| \leqq r < 1$ pour tout $n \geqq 0$.

1° Posons $\mathcal{L}_n(f) = f_n(z_n)$ et soit $P_n(z, z_0, \ldots, z_{n-1}) = \Pi_n(z)$ le polynome de degré n tel que $\mathcal{L}_k(\Pi_n) = 0$ si $k \neq n$, $\mathcal{L}_k(\Pi_n) = 1$ si $k = n$. Posons

$$H_n(z_0, z_1, \ldots z_{n-1}) = P_n(0, z_0, \ldots, z_{n-1})$$

On a

$$H_n(z_0, z_1, \ldots, z_{n-1}) = z_0 \sum_{k=1}^{n-1} (z_1^k - z_0^k)\, H_{n-k-1}(z_{k+1}, \ldots, z_{n-1}).$$

En utilisant le théorème du module maximal et en majorant

$$x\,|\sin\theta| + \ldots + x^{n-1}\,|\sin(n-1)\theta|$$

à l'aide de l'inégalité de Cauchy, on démontre par récurrence que $|H_n(z_0, z_1, \ldots, z_{n-1})| < (ar)^n$, où $a = (0{,}536)^{-1}$. Il en résulte, pour $|z| \leqq R$ avec $R > ar$, l'inégalité $|\Pi_n(z)| < R^{n+1}(R - ar)^{-1}$. Il suffit alors d'établir l'égalité

$$f(z) - \sum_{k=0}^{n-1} f_k(z_k) \cdot \Pi_k(z) = \sum_{k=0}^{\infty} a_{n+k}\, P_{n+k}(z, z_0, \ldots, z_{n-1}, 0, \ldots, 0)$$

et d'en majorer le deuxième membre pour obtenir le théorème :

Si $|z_n| \leqq r \leqq 0{,}536$, *toute fonction* f *holomorphe dans le cercle unité est développable en la série* (S) : $\sum_{n=0}^{\infty} f_n(z_n)\,\Pi_n(z)$. *D'où, en particulier,* $C > 0{,}536$, C désignant la borne supérieure des nombres r tels que les conditions $|z_n| \leqq r$ et $f_n(z_n) = 0$ pour tout n entraînent $f(z) \equiv 0$ (¹). D'autre part, la résolution des équations $f_\varphi(z) = 0$, (¹) qui sont de degré $\leqq 11$, a été effectuée à l'Institut de Calcul numérique de l'Université de Toulouse, et a montré que, *pour* $\varphi = 3\pi/4$, $f_\varphi(z)$ *possède un zéro de module* $< 0{,}5617$. *D'où l'inégalité* $C < 0{,}5617$.

2° L'inégalité $C > 0{,}536$ peut être établie directement par la méthode suivante : s'il existait une fonction $f(z)$, évidemment différente d'un

polynome, telle que, pour tout n, on ait $f_n(z_n) = 0$ avec $|z_n| < 0,536$, on aurait

$$-a_n = \sum_{k=2}^{\infty} a_{n+k}\, z_n\, (z_n^{k-1} - z_{n+1}^{k-1}).$$

Or, pour tout $\lambda > 1$, $|a_n|.\lambda^{-n} \to 0$, donc il existe une suite partielle (n_k) telle que, pour tout $n \geqq n_k$, on ait $|a_n| \leqq \lambda^{n-n_k}|a_{n_k}|$. On en déduirait, en utilisant à nouveau le théorème du module maximal et l'inégalité de Cauchy et en choisissant λ assez voisin de 1, que le deuxième membre de l'égalité précédente est inférieur à $|a_n|$ pour $n = n_k$.

La même méthode, à quelques complications de calcul près, permet de démontrer que *la constante de Whittaker* W [2] *et celle de Gontcharoff* G [3], *relatives aux dérivées successives, sont supérieures à* 0,718.

Dans l'article [2], R. P. Boas démontre la même inégalité pour W, mais par une méthode non élémentaire. On sait actuellement que $0,7259 \leqq W \leqq 0,7378$ [4]. Pour G, seules les inégalités $\log 2 \leqq G \leqq 0,7378$ me semblent connues [3].

2. 1° Par une méthode analogue à celle du paragraphe 1 (1°), on démontre que : *si* $|z_n| \leqq n^{1/\rho}$ *pour tout* $n \geqq 0$, *toute fonction entière de croissance moindre que* [*ordre* ρ, *type* $(0,536)^\rho.\rho^{-1}$] *est développable en série* (S). L'exemple

$$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(e^{in(n-1)\frac{3\pi}{8}}\right)(n!)^{-\frac{1}{\rho}}(0,5617)^n z^n$$

permet de prouver qu'*on ne peut remplacer* 0,536 *par un nombre* $\geqq 0,5617$.

2° *Si* $f(z)$ *est entière, d'ordre* 1, *de type* $\tau \leqq 0,536$, *et si* $|z_n| \leqq n$ *pour tout* n, *on a*

$$L = \overline{\lim_{n\to\infty}} \, |n!\, f_n(z_n)|^{\frac{1}{n}} = \tau.$$

De plus, 0,536 *ne peut être remplacé par un nombre* $\geqq 0,5617$. En effet, on a, d'une part, immédiatement, $L \leqq \tau$. D'autre part, si L était inférieur à τ, on trouverait, en majorant convenablement $\sum_{n=0}^{m-1} f_n(z_n)\,\Pi_n(z)$ et $\sum_{n=m}^{\infty} f_n(z_n)\,\Pi_n(z)$, où m représente la partie entière de $(0,536)\,|z|$, que $f(z)$ est de type exponentiel inférieur à τ.

Pour les dérivées successives, on démontre de même le théorème suivant :

Si $f(z)$ *est entière, d'ordre* 1, *de type* $\tau < 0,7259$ *et si* $|z_n| \leqq 1$ *pour tout* n, *on a :* $\overline{\lim_{n\to\infty}} |f^n(z_n)|^{1/n} = \tau$. *De plus,* 0,7259 *ne peut être remplacé par un nombre supérieur à* 0,7378. Ce théorème a été établi indépendamment par M. Combes à l'aide d'une méthode différente, dans un article non encore publié. On obtient un théorème analogue pour les fonctions holomorphes dans le cercle unité.

3° En suivant une méthode utilisée dans une Note précédente ([5]), on démontre que : *si* $f(z)$ *est entière, de croissance moindre que* [ordre ρ, type $(1-(1/\sqrt{2}))^{\rho}.\rho^{-1}$] *alors, pour une infinité de rangs* n, $f_n(z)$ *est univalente dans le cercle* $|z|\leq n^{1/\rho}$. L'exemple

$$f(z)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(e^{in(n-1)\frac{\pi}{2}}\right)(n!)^{-\frac{1}{\rho}}(\sqrt{2}-1)^n z^n$$

permet d'établir que $1-(1/\sqrt{2})$ *ne peut être remplacé par un nombre* $>\sqrt{2}-1$. Les détails des démonstrations, ainsi que d'autres résultats, seront donnés dans une prochaine publication.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) *Cf.* M. Pommiez, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1168.

([2]) R. P. Boas, *Duke Math. J.*, 11, n° 1, 1944, p. 17-22.

([3]) R. P. Boas, *Duke Math. J.*, 15, n° 4, 1948, p. 953-954.

([4]) S. S. Macintyre, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 67, 1949, p. 241-251.

([5]) M. Pommiez, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2669.

FONCTIONS ELLIPTIQUES. — *Sur la fonction $\sigma(u)$ de Weierstrass.* Note (*) de M. **Michel Ghermanescu**, présentée par M. Henri Villat.

Dans une Communication faite à l'Académie de Berlin, Weierstrass a montré que la fonction $\sigma(u)$ de sa théorie des fonctions elliptiques satisfait à l'équation fonctionnelle [1]

$$(1)\quad f(u+v)f(u-v)f(w+t)f(w-t)+f(u+w)f(u-w)f(t+v)f(t-v) + f(u+t)f(u-t)f(v+w)f(v-w)=0,$$

en la déterminant par son développement taylorien.

A. Delisle a déterminé l'ensemble des solutions analytiques de (1) [2].

Nous avons déterminé l'ensemble des solutions continues et uniformes de (1) à l'aide des propriétés suivantes :

1° *Toute solution continue et uniforme de l'équation fonctionnelle* (1) *est une fonction impaire*, $f(-u)=-f(u)$, *avec* $f(u)=0$.

2° *Toute solution continue et uniforme de l'équation fonctionnelle* (1) *satisfait aussi à une équation de la forme*

$$(2)\quad f(u+v)f(u-v)=A(u)B(v)-A(v)B(u),$$

dans laquelle $A(u)$ *et* $B(u)$ *sont des fonctions continues et uniformes, paires en* u.

3° *Toute solution continue et uniforme de l'équation fonctionnelle* (1) *satisfait aussi à l'équation fonctionnelle à deux fonctions inconnues*, f *et* φ.

$$(3)\quad f(u+v)f(u-v)=f^2(u)f^2(v)[\varphi(u)-\varphi(v)].$$

4° *a. Les zéros de* $f(u)$ *sont simples.*

b. Les pôles de $\varphi(u)$ *sont doubles et ils sont les zéros de* $f(u)$.

c. Les zéros de $f(u)$ *sont des périodes pour* $\varphi(u)$, *qui est paire et dérivable.*

5° *La fonction* $f(u)$ *satisfait à l'équation fonctionnelle*

$$(4)\quad f(u+a)f(u-a)=Kf^2(u)\qquad (K=\text{Cte}),$$

a étant un zéro de $f(u)$.

6° *Si a est un zéro de* $f(u)$, *tout multiple entier de a en est un autre. La fonction* $f(u)$ *possède deux zéros, a et b, au plus, dont le rapport est un nombre complexe. Dans ce cas, tout nombre* $c=ma+nb$, *avec m et n entiers, est un zéro de* $f(u)$.

7° *L'ensemble des solutions continues et uniformes de l'équation fonctionnelle* (3) *est constitué par*

$$(5)\quad f(u)=Ce^{pu^2}\sigma(u),\qquad \varphi(u)=-C^{-2}\wp(u)+C_1,$$

dans lesquelles $\sigma(u)$ *est la fonction de Weierstrass, construite avec des zéros arbitraires et* $\wp(u)$ *la fonction elliptique correspondante, tandis — que* p, C *et* C_1 *sont des constantes arbitraires — ainsi que par*

$$(6)\qquad f(u) = C e^{pu^2} \sin\frac{2\pi u}{a}, \qquad \varphi(u) = C^{-2}\operatorname{ctg}^2\frac{2\pi u}{a} + C_1,$$

dans lesquelles a, p, C *et* C_1 *sont des constantes arbitraires.*

8° *L'ensemble des solutions continues et uniformes de l'équation fonctionnelle* (1) *est constitué par*

$$(7)\qquad f(u) = C e^{pu^2}\sigma(u), \qquad f(u) = C e^{pu^2} \sin\frac{2\pi u}{a},$$

les notations étant les mêmes que précédemment.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) K. WEIERSTRASS, *Sitzungsber. der Berliner Akademie*, 1882, p. 508.

(2) A. L. F. DELISLE, *Math. Ann.*, 30, 1887, p. 91-119.

AÉROTHERMIQUE. — *Mesure des coefficients d'accommodation sur une surface.* Note (*) de M. **Marcel Gilli**, transmise par M. Gustave Ribaud.

Pour la mesure du coefficient d'accommodation sur une surface, nous avons employé deux méthodes nouvelles.

1. La première est une modification de celle indiquée par F. M. Devienne [1] et qui consiste à utiliser deux plaques identiques dont l'une est exposée à un rayonnement sur une de ses faces. Un couple différentiel donne à tout instant la différence de température θ entre les deux plaques.

Opérant dans un vide très poussé, si W est le rayonnement *capté* par la plaque et θ_0 la valeur de θ en régime permanent, on a

$$W = 2\xi\varepsilon\theta_0, \tag{1}$$

ξ désignant le coefficient de rayonnement du corps noir et ε le facteur d'émission de la plaque.

Opérant ensuite dans un gaz à une pression déterminée, on mesure la nouvelle valeur de régime θ_0''' et l'on peut écrire

$$W = 2\xi\varepsilon\theta_0''' + 2aK\theta_0''', \tag{2}$$

K représentant la capacité calorifique de la masse de gaz qui heurte l'unité de surface de la plaque pendant l'unité de temps, a le coefficient d'accommodation pour le gaz et la plaque étudiés.

De ces deux équations on déduit

$$\frac{a}{\varepsilon} = \frac{\xi(\theta_0 - \theta_0''')}{K\theta_0'''}$$

La mesure de a, à partir de cette relation, suppose connu ε. Dans la technique initiale, pour obtenir ce facteur, on reprenait la première expérience en noircissant au noir de fumée la face arrière de la plaque exposée au rayonnement et l'on observait la nouvelle température θ_0'. Le facteur d'émission du noir de fumée étant mal connu, la valeur de ε obtenue comportait une certaine imprécision.

Pour la déterminer nous avons étudié le régime de montée en température de la plaque placée dans un vide très poussé. L'énergie W absorbée par unité de temps et de surface de la plaque s'écrit, à l'instant t :

$$W\,dt = 2\xi\varepsilon\theta\,dt + \frac{mc}{S}\,d\theta,$$

(mc/S, masse calorifique de la plaque par unité de surface).

L'équation précédente a pour solution

$$\theta = \theta_m\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{mc}{2S\xi\varepsilon};$$

la mesure de τ fournit ε.

Nous avons utilisé des plaquettes de cuivre, nickelé par électrolyse; la masse du nickel pouvait être négligée. Pour la détermination de τ on peut évidemment étudier également la loi de refroidissement de la plaque, le rayonnement étant supprimé.

2. La deuxième méthode consiste à faire tomber, normalement, sur l'une des plaques un jet moléculaire chauffé à l'intérieur d'un tube de cuivre par une résistance électrique. En utilisant les notations ci-dessus et, désignant par T_g et T_p les températures respectives d'équilibre du jet et de la plaque, on peut écrire :

$$2\varepsilon\xi\theta = aK(T_g - T_p).$$

Plusieurs corrections doivent intervenir; il faut tenir compte de l'énergie apportée par le choc des molécules ([2]), du rayonnement du tube chaud (environ 25 %), du fait que toutes les molécules sortant du tube ne rencontrent pas la plaque (pour une distance tube-plaque de 1 mm, 85 % environ des molécules heurtent la plaque).

Cette méthode présente l'avantage de permettre des mesures à très basse pression (10^{-4} à 10^{-5} mm Hg) et de ne pas faire intervenir la loi de répartition des vitesses des molécules.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs obtenues par la première méthode ainsi que les valeurs indiquées par d'autres auteurs.

Coefficients d'accommodation pour diverses surfaces.

	Amdur ([3]).			Schaefer ([4]).	Keesom ([5]).	Valeurs trouvées à l'aide de la première méthode.		
Surfaces.	Ni.	Pt.	W.	Verre.	Verre.	Cuivre nickelé recouvert de noir de fumée.	Cuivre nickelé recouvert d'huile (silicone).	Cuivre nickelé
He	0,39	0,37	0,47	0,36	0,34	0,51	0,37	0,35
Ar	0,94	0,93	0,97	0,90	–	0,86	0,85	–
N_2	0,82	0,82	0,87	0,82	0,86	0,76	0,70	–
O_2	0,86	0,85	0,90	0,85	–	0,85	0,74	–
Air	–	–	–	–	–	0,79	0,72	0,75
CO_2	–	–	–	0,79	–	0,79	0,89	–
CH_3Cl	–	–	–	–	–	0,92	0,94	–

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 243, 1957, p. 27.

([2]) F. M. DEVIENNE, *Public. scient. et techn. Minist. Air*, Note technique 55, 1955.

([3]) *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, n° 2, 1957.

([4]) *Electrochem. Ber. Bunsengesellschaft der Phys. Ch.*, 59, n° 10, 1955.

([5]) *Physica*, 3, n° 7, juillet 1936.

HYDRAULIQUE. — *A propos des infiltrations au travers des digues en terre.* Note (*) de M. **Pierre Guevel**, transmise par M. Léopold Escande.

L'apparition du suintement le long de la paroi aval d'une digue en terre est conditionnée, au point de vue physique, par la dimension des grains constituant le matériau perméable.

Le problème qui consiste à rechercher la forme de la surface libre dans une digue en terre a fait l'objet de nombreuses publications.

Les études analytiques ont montré que la ligne d'eau aboutit nécessairement sur le parement aval à une cote supérieure à celle du plan d'eau aval : il doit donc y avoir toujours suintement le long de la paroi aval, quel que soit le niveau de la retenue aval.

Ce dernier point surprend car il semble, *a priori*, que le suintement ne devrait pas apparaître dans le cas d'une digue très épaisse et que, pour une digue donnée, il devrait disparaître lorsque la retenue aval devient importante.

Telle est d'ailleurs l'opinion de nombreux hydrauliciens : en particulier, Jaeger considère que, pour un ouvrage donné, l'écoulement peut être « noyé » ou « dénoyé » suivant les valeurs données à la retenue aval. A ce propos, il introduit une profondeur aval « critique » au-delà de laquelle le suintement disparaît.

L'objet de cette Note est d'essayer de concilier les points de vue des théoriciens et des praticiens.

Dans le but de simplifier l'exposé mathématique, nous raisonnerons sur une digue à parois verticales, mais les conclusions resteront valables dans le cas d'une digue absolument quelconque.

Considérons alors une digue en terre à parois verticales, d'épaisseur L, constituée par un matériau homogène de perméabilité A. Soient H_1 la charge amont, H_2 la charge aval.

Les études théoriques que nous avons déjà signalées montrent que la configuration de la figure 1 ne peut avoir lieu et que seuls, la configuration de la figure 2 est à retenir.

La ligne d'eau ne peut aboutir au point C que si elle a l'allure indiquée sur la figure 3. Bien qu'une telle configuration n'ait évidemment aucun sens physique, nous avons néanmoins établi, pour des raisons que nous exposerons plus loin, l'équation de la ligne d'eau correspondante. Pour cela, nous avons été amené à construire l'hodographe de l'écoulement (*fig.* 4).

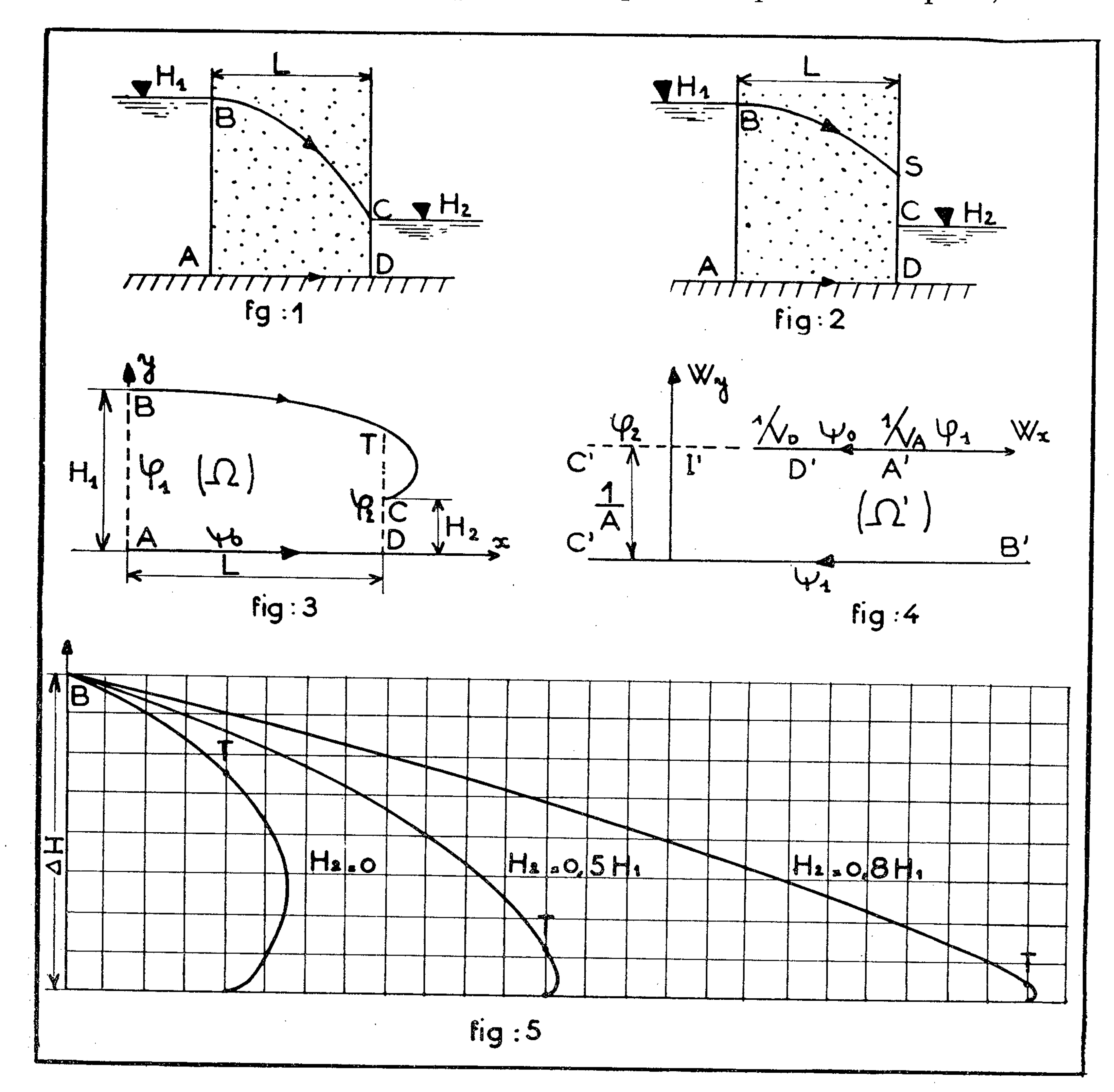
Dans le plan $W = dz/d\zeta$, on connaît la fonction de potentiel complexe appropriée. La répartition du potentiel le long de la droite B'T'C' du plan W

étant alors connue, on en déduit les équations paramétriques de la ligne BTC du plan z, soit

$$\frac{x - x_B}{H_1 - H_2} = \frac{\sqrt{\operatorname{ch} m\pi + 1}}{4\pi F(\theta)} \int_\lambda^\infty \frac{\lambda\, d\lambda}{\sqrt{\operatorname{ch}\lambda + \operatorname{ch} m\pi}} - k\frac{y - y_B}{H_1 - H_2},$$

$$\frac{y - y_B}{H_1 - H_2} = -\frac{\sqrt{\operatorname{ch} m\pi + 1}}{4F(\theta)} \int_\lambda^\infty \frac{d\lambda}{\sqrt{\operatorname{ch}\lambda + \operatorname{ch} m\pi}},$$

$F(\theta)$ désignant l'intégrale elliptique complète de première espèce; θ étant



un angle lié au coefficient de débit α par la relation [1]

$$\alpha = \frac{1}{2}\,\frac{F(\pi - \theta)}{F(\theta)},$$

m étant un coefficient lié à θ par la relation

$$\cos\theta = \frac{\operatorname{ch} m\pi - 3}{\operatorname{ch} m\pi + 1},$$

K étant un coefficient positif qui dépend de H_1, H_2 et L.

Sur la figure 5, nous avons dessiné la ligne d'eau BTC correspondant à une digue pour laquelle $\alpha = 1$ et $H_2 = 0$. De cette courbe que nous appellerons « courbe de base », nous pouvons déduire toutes les autres lignes d'eau, à condition toutefois qu'on ait toujours $\alpha = 1$, c'est-à-dire $H_1 + H_2 = 2L$.

Sur la figure 5, nous avons alors représenté les courbes correspondant à

$$H_2 = 0{,}5 H_1, \qquad L = 0{,}75 H_1$$

et à

$$H_2 = 0{,}8 H_1, \qquad L = 0{,}90 H_1.$$

On constate que les dimensions de la portion de la ligne d'eau qui sort de la digue décroissent très rapidement lorsque le rapport H_2/H_1 augmente.

Il arrive alors un moment où la longueur TC devient de l'ordre de grandeur de la dimension des grains composant le matériau avec lequel on a édifié la digue. Dans ces conditions, la portion MT de la ligne d'eau calculée par notre méthode ne doit pas être rejetée, bien que le long de TC la loi $\varphi = -Ay$ ne soit pas satisfaite. En effet, on ne doit pas éliminer une solution pour la seule raison que, dans une région, elle ne satisfait pas à des principes mathématiques, alors que ces principes eux-mêmes ne sont pas valables dans la région incriminée. Nous voyons alors qu'en augmentant suffisamment la charge aval, on arrive à supprimer le suintement.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) On démontre aisément, en utilisant la « permutation fonction-variable » que le coefficient de débit a pour valeur : $\alpha = (H_1 + H_2)/2L$ tout comme dans le cas où il y a suintement.

HYDRAULIQUE. — *Méthode graphique pour l'étude des coups de bélier d'onde sur les conduites munies de réservoirs d'air.* Note (*) de MM. **Désiré Le Gourières** et **Jean Nougaro**, transmise par M. Léopold Escande.

La méthode exposée ci-après est générale et entièrement graphique. Elle s'applique à des réservoirs de toutes formes pour des lois de compression quelconques. Elle nécessite le tracé de la courbe ξ (V), courbe donnant la surpression à la base du réservoir en fonction du volume de l'air emprisonné.

1. *Tracé de la courbe* ξ (V). — Soit un réservoir d'air relié à un système de conduites (*fig.* 1). Appelons N_0 le niveau de l'eau, p_0 et V_0 la pression et le volume de l'air dans ce réservoir en régime permanent.

A un instant donné que nous prendrons comme instant origine, on introduit une perturbation dans le système (en manœuvrant une vanne par exemple). Le niveau dans le réservoir varie.

Représentons dans un système d'axes (OV, Oh) la caractéristique géométrique h (V) du réservoir et dans un système d'axes (OV, Op) la loi de variation p (V) de la pression de l'air emprisonné.

h, désignant la cote du niveau de l'eau N par rapport à un plan de référence;
V, le volume occupé par l'air lorsque le niveau de l'eau est en N;
p, la pression correspondante de l'air.

La surpression ξ à la base du réservoir d'air pour le niveau N est $\xi = h - h_0 + [(p - p_0)/\varpi]$. La construction de la courbe ξ(V) à partir de h (V) et de p (V) n'offre aucune difficulté. Le point courant M de la courbe ξ (V) est obtenu immédiatement en appliquant la relation

$$\overline{AM} = \overline{BC} + \overline{DE} \qquad (\textit{fig. } 1).$$

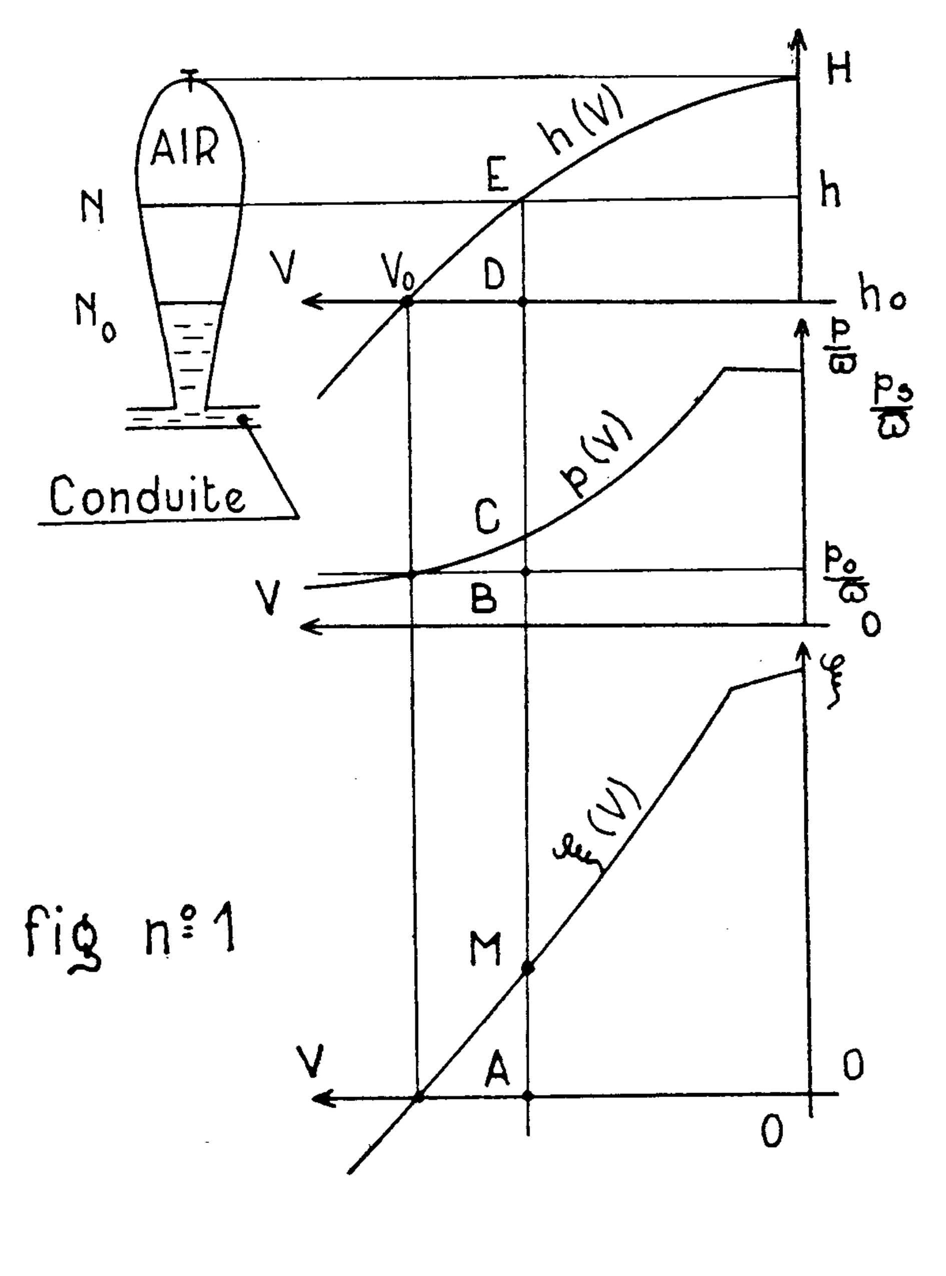
2. *Détermination d'un point de fonctionnement* r_t *correspondant à la base du réservoir d'air à l'instant t connaissant le point de fonctionnement* $r_{t-\Delta t}$ *et un lieu de* r_t *dans le diagramme de Bergeron.* — Le point $r_{t-\Delta t}$ étant connu par ses coordonnées dans le diagramme (ξ, q), le volume occupé par l'air emprisonné $V_{t-\Delta t}$ l'est aussi : il suffit de rappeler le point $r_{t-\Delta t}$ sur la courbe ξ (V) pour connaître ce volume.

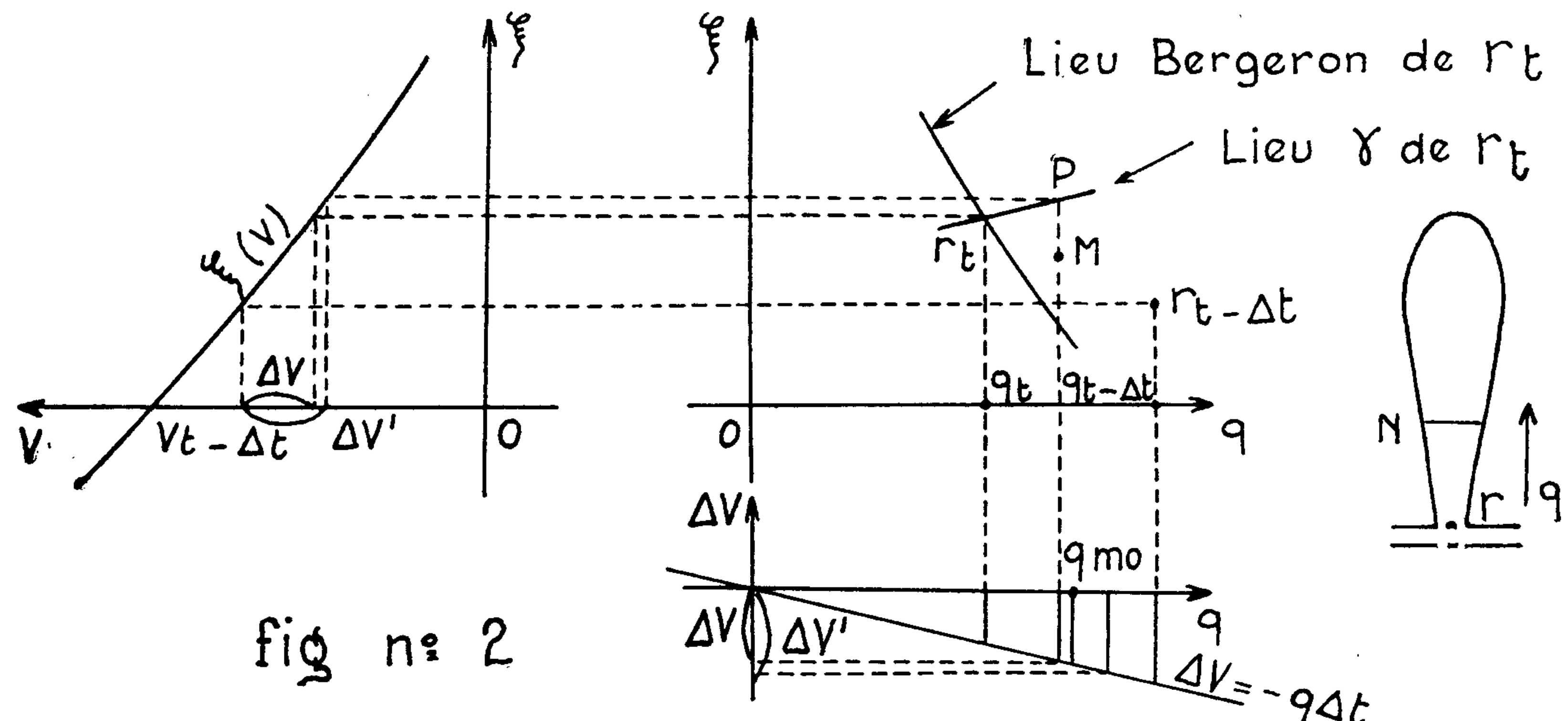
L'ordonnée ξ_t du point r_t est liée à son abscisse q_t par la courbe ξ (V) : En effet, supposons connu q_t, débit d'eau entrant dans le réservoir d'air à l'instant t. La variation du volume de l'air emprisonné entre les instants $t - \Delta t$ et t est telle que

$$\Delta V = - q_{\text{moyen}} \times \Delta t = - \frac{q_{t-\Delta t} + q_t}{2} \Delta t.$$

Cette variation ΔV est immédiatement donnée pour $q = q_{\text{moyen}}$ par une droite d'équation $\Delta V = -q\,\Delta t$ tracée sur un diagramme $(q, \Delta V)$ disposé comme l'indique la figure 2.

En reportant sur l'axe OV du diagramme (ξ, V) ΔV à partir de $V_{t-\Delta t}$





dans le sens positif ou négatif suivant le signe de ΔV, on obtient le volume occupé par l'air à l'instant t.

L'ordonnée du point de la courbe $\xi(V)$ d'abscisse $V_{t-\Delta t} + \Delta V$ n'est autre que ξ_t, surpression à la base du réservoir d'air à l'instant t.

L'horizontale menée par ce point coupe donc la droite d'abscisse q_t dans le diagramme (ξ, q) au point r_t cherché.

Dans le cas général, on ne connaît pas q_t. On part donc d'un point M du diagramme (ξ, q), d'abscisse q_t supposée. On détermine la valeur correspondante de $\Delta V : \Delta V'$, comme indiqué ci-dessus. L'horizontale menée par le point de la courbe ξ (V) d'abscisse $V_{t-\Delta t} + \Delta V'$ coupe la verticale de M en un point P.

En recommençant la construction pour des points M d'abscisse différente, on obtient plusieurs points P. La courbe obtenue en joignant ces points P est un lieu de r_t. Tous les points de cette courbe vérifient en effet la relation ξ (V) imposée au point r_t. Soit γ ce lieu.

Si un autre lieu du point r_t a pu être construit par la méthode de Bergeron, le point r_t est déterminé : il se trouve à l'intersection des deux lieux.

En pratique, on tracera d'abord le lieu Bergeron. Il suffira alors de deux ou trois essais pour déterminer avec précision le point d'intersection avec le lieu γ, c'est-à-dire le point r_t.

Nous donnerons, dans une prochaine Note, un exemple d'application de cette méthode.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

PHYSIQUE SOLAIRE. — *Interprétation de la polarisation de la lumière des taches solaires.* Note (*) de M. **Jean-Louis Leroy**, transmise par M. André Danjon.

La polarisation de la lumière photosphérique observée dans les centres actifs semble due aux champs magnétiques. Les raies solaires saturées sont séparées en trois composantes égales par un champ transversal; les vibrations lumineuses parallèles au champ sont alors moins absorbées que les vibrations perpendiculaires. Un champ de 50 gauss crée encore une polarisation mesurable dans l'ensemble du spectre.

Des observations polarimétriques décrites précédemment [1] ont montré que la lumière photosphérique est polarisée de façon complexe dans la région des taches solaires; la proportion de lumière polarisée peut atteindre quelques millièmes. Il semble possible d'expliquer ce phénomène par les mêmes processus que ceux qui rendent compte de l'intensification des raies formées dans un champ magnétique [2], [3].

Intensification magnétique d'une raie et polarisation de la lumière. — Soit une raie d'intensité moyenne, c'est-à-dire dont la largeur équivalente change peu quand le nombre d'atomes absorbants varie. Un champ magnétique perpendiculaire à la direction d'observation la sépare en trois composantes qui ont sensiblement la même largeur équivalente; l'absorption est alors plus forte qu'en l'absence de champ. D'autre part, les deux composantes latérales n'absorbent que les vibrations polarisées perpendiculairement à la direction du champ tandis que la composante centrale absorbe seulement les vibrations parallèles au champ. La lumière transmise dans l'ensemble de la raie contient donc un excès de vibrations parallèles au champ.

Si l'on observe dans la direction des lignes de force, la raie paraît séparée en deux composantes qui absorbent également les vibrations circulaires droites et gauches; aucune polarisation n'apparaît.

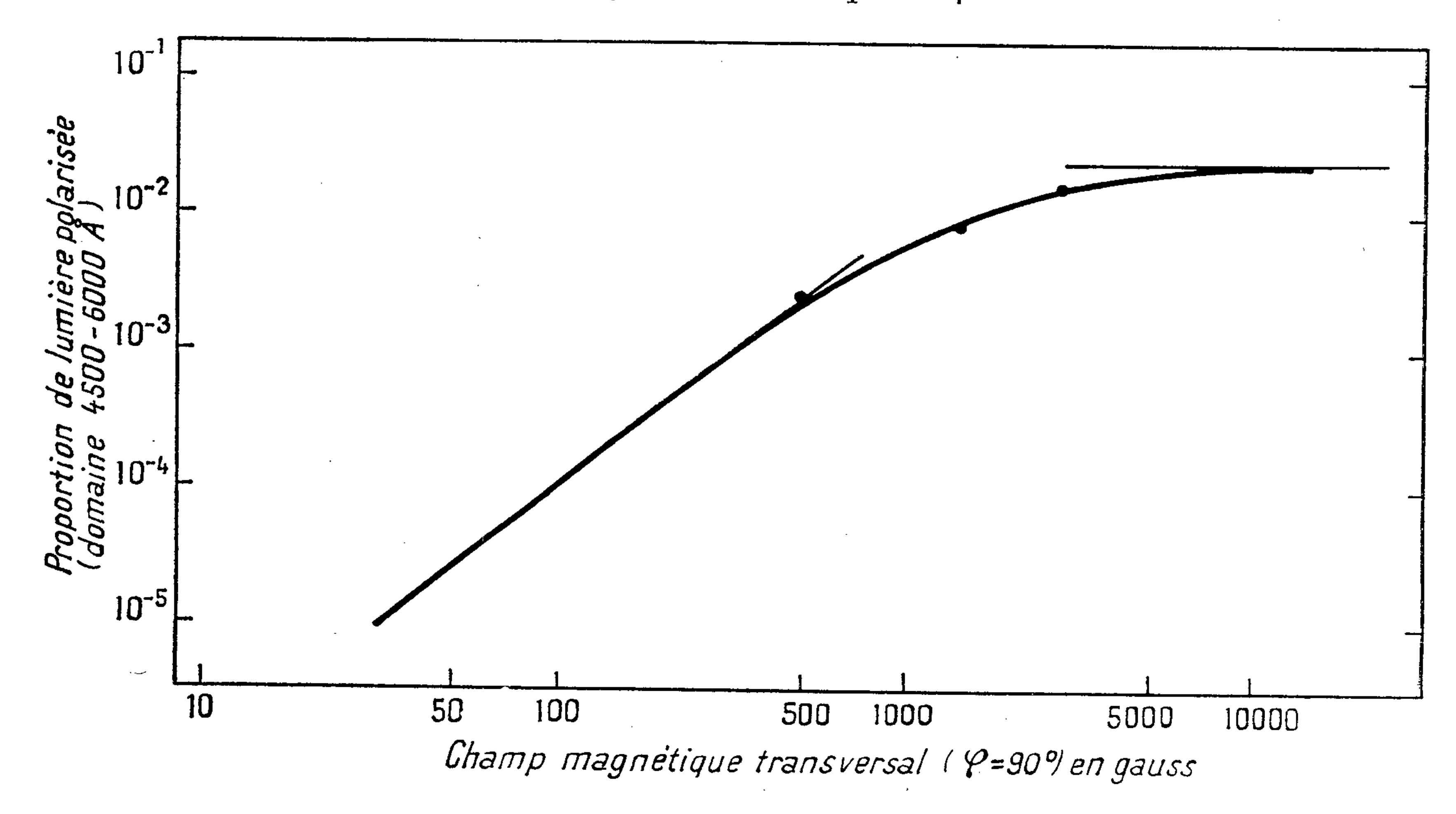
La polarisation rectiligne de la lumière, dans un domaine spectral qui comprend des raies d'absorption, est donc liée à l'intensité et à la direction du champ magnétique transversal qui règne dans la région où se saturent les raies.

Proportion de lumière polarisée créée dans un large intervalle du spectre solaire par un champ magnétique homogène. — Une théorie établie par W. Unno [4] permet de calculer la quantité de lumière polarisée transmise dans des raies d'absorption de différentes largeurs équivalentes décomposées par un champ magnétique. J'ai admis en première approximation que les figures présentées par les raies décomposées étaient toujours des triplets [5]. La proportion de lumière polarisée introduite dans le domaine 4 500-6 000 Å est obtenue par sommation des polarisations introduites par toutes les raies.

La figure montre comment varie la proportion de lumière polarisée en fonction de l'intensité H d'un champ magnétique perpendiculaire à la ligne de visée.

Lorsque H est inférieur à 500 gauss, la polarisation est proportionnelle à $H^2 \sin^2 \varphi$, où φ est l'angle que fait la direction d'observation avec les lignes de force du champ : on mesure alors exactement la composante transversale du champ $H \sin \varphi$.

Pour les grandes valeurs de H ($H \simeq 3\,000$ gauss), la polarisation varie selon une loi plus compliquée mais la proportion de lumière polarisée est toujours maximale pour $\varphi = 90^{\circ}$ et nulle pour $\varphi = 0$.



Détermination polarimétrique des champs magnétiques transversaux sur le Soleil. — Le polarimètre photoélectrique mis au point par A. Dollfus ([6]), ([7]) peut déceler une proportion de lumière polarisée de 1/100 000[e] qu'un champ transversal de moins de 50 gauss suffit à créer.

Le polarimètre permet d'une part de connaître la direction de la projection sur le disque solaire des lignes de force du champ. Il donne d'autre part l'intensité de la composante transversale du champ. Cette propriété est d'autant plus intéressante que les magnétographes actuellement en usage mesurent la composante longitudinale.

Champs magnétiques dans les taches et dans les facules. — Les mesures de polarisation de la lumière des taches obtenues en 1959 ([1]) ont montré que la structure des champs transversaux est complexe et variable, surtout dans les groupes multipolaires. Les champs maximaux ne coïncident pas toujours avec le centre de la tache; des champs de 200 gauss et plus débordent souvent hors de la pénombre. On observe des variations, dont certaines, à évolution rapide, sont associées à l'apparition d'éruptions chromosphériques.

Les facules du calcium ionisé observées près du bord solaire montrent une lumière partiellement polarisée [8]. On peut expliquer ce phénomène en admettant qu'il existe en ces régions des champs d'environ 150 gauss dont les lignes de force sont sensiblement normales à la photosphère. Ce résultat s'accorde avec celui de R. B. Leighton [9] qui, mesurant la composante longitudinale du champ, n'observait des champs magnétiques dans les facules que lorsqu'elles étaient proches du centre du disque solaire.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) J. L. LEROY, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2492.
(2) H. W. BABCOCK, *Ap. J.*, 110, 1949, p. 126.
(3) R. W. WOOD, *Physical Optics*, 1911, p. 520.
(4) W. UNNO, *Publ. Astr. Soc. Jap.*, 8, 1956, p. 108.
(5) H. W. BABCOCK, *Ap. J.*, 34, 1911, p. 288.
(6) A. DOLLFUS, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2345.
(7) A. DOLLFUS, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3590.
(8) A. DOLLFUS et J. L. LEROY, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 665.
(9) R. B. LEIGHTON, *Ap. J.*, 130, 1959, p. 366.

(*Observatoire de Paris-Meudon.*)

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur la représentation hydrodynamique de l'équation de Feynman et Gell-Mann* (*) et *Sur un modèle physique de l'onde quantique* (**). Note rectificative de M. **Jean-Claude Aron**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans la Note du 17 août 1960, l'équation de Feynman et Gell-Mann est représentée au moyen d'un spineur à deux composantes. Or, dans le cas général, la représentation de l'électron nécessite deux spineurs (droit et gauche), qui deviennent égaux à l'approximation non relativiste. C'est donc à cette approximation que la représentation hydrodynamique obtenue est valable; elle coïncide alors avec celle de l'équation de Pauli.

Dans le cas relativiste, l'équation de Feynman et Gell-Mann étant équivalente à celle de Dirac, sa représentation hydrodynamique n'est autre que celle de l'équation de Dirac.

Le paragraphe 2 de la Note du 22 août 1960 est, en conséquence, à supprimer.

(*) Séance du 17 août 1960.

(**) Séance du 22 août 1960.

PHYSIQUE QUANTIQUE ATOMIQUE. — *Sur le calcul des polarisabilités des atomes à couches incomplètes.* Note de M. **Louis Chopin Cusachs**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dalgarno et Parkinson (1) ont obtenu des valeurs acceptables de la polarisabilité moyenne pour la série des atomes allant du bore au néon. Mais l'anisotropie elle-même peut être très importante du point de vue chimique. Pople et Schofield (2) ont élargi une méthode fondée, en principe, sur les travaux de Kirkwood (3) et de Buckingham (4). Celle-ci n'est limitée en précision que par la qualité des fonctions d'onde déjà connues pour les atomes non perturbés.

Soit Ψ_0 la fonction d'onde du système non perturbé. On choisit une fonction de variation généralisée :

$$\Psi = \Psi_0\left(1 + \sum_i^N u(\vec{r}_i)\right). \tag{1}$$

En notant $\rho_1(\vec{r}_1)$ et $\rho_2(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ les matrices de densité du premier et deuxième ordre et $v = \sum_i^N v(\vec{r}_i)$ le potentiel perturbateur, l'énergie du second ordre peut être réduite aux intégrales à un électron :

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2}\int (\nabla u)^2 \rho_1(\vec{r}_1)\, d\vec{r}_1 + 2\int \sigma(\vec{r}_1)\, u(\vec{r}_1)\, d\vec{r}_1, \tag{2}$$

avec

$$\sigma(\vec{r}_1) = \rho_1(\vec{r}_1)\, V(\vec{r}_1) + \int \rho_2(\vec{r}_1, \vec{r}_2)\, V(\vec{r}_2)\, d\vec{r}_2. \tag{3}$$

Si l'on fait varier $u(\vec{r})$ le minimum de l'énergie est atteint lorsque

$$\nabla\left[\rho_1(\vec{r}_1)\, \nabla u(\vec{r}_1)\right] = 2\sigma(\vec{r}_1), \tag{4}$$

de sorte que

$$\varepsilon_2 = -\frac{1}{2}\int (\nabla u)^2 \rho_1(\vec{r}_1)\, d\vec{r}_1. \tag{5}$$

$$\varepsilon_2 = \int \sigma(\vec{r}_1)\, u(\vec{r}_1)\, d\vec{r}_1. \tag{6}$$

Pople et Schofield ont considéré le cas où l'énergie du premier ordre est toujours nulle, les fonctions d'onde réelles, et se sont limités au cas particulier d'une répartition électronique à symétrie sphérique.

En réexaminant cette théorie nous trouvons qu'il est possible de dériver des équations équivalentes même lorsqu'il y a une énergie du premier ordre et que les fonctions d'onde sont complexes. Buckingham note que (2)

est exacte si les fonctions d'onde sont réelles et sont des solutions de l'équation de Schrödinger. Pour les équations analogues généralisées, il suffit que

$$\int \Psi_0^* u^* u \mathrm{H}_0 \Psi_0 d\tau = \left(\int \Psi_0^* \mathrm{H}_0 \Psi_0 d\tau\right)\left(\int \Psi_0^* u^* u \Psi_0 d\tau\right) \tag{7}$$

une condition beaucoup moins sévère. Pour pouvoir utiliser (6) afin d'évaluer la polarisabilité, il suffit de faire varier ou un paramètre ou une fonction quelconque. Dans le cas le plus simple, l'équation (4) est séparable, admettant la solution

$$u(\vec{r}) = -\mathrm{F}g(r)\cos(\theta), \tag{8}$$

lorsque l'axe z est l'axe du champ :

$$v(r) = +\mathrm{F}r\cos(\theta). \tag{9}$$

Dans le cas moins symétrique, cette équation n'est plus séparable, à cause des orbitales p_0 dont la fonction de perturbation a deux composantes, l'une de symétrie s et l'autre de symétrie d_0, difficilement exprimables sous la forme (1). Mais dans le cas d'atomes comme l'argon, malgré la présence de ces orbitales p_0, ces équations (1) à (6), (8) et (9) restent valables. Ces effets doivent, donc, s'annuler. Dans le cas chimiquement intéressant des atomes à couches p incomplètes, $\sigma(\vec{r}_1)$ peut être mis sous la forme

$$\sigma(\vec{v}) = \mathrm{F}(s(r)\cos\theta + g(r)\cos^3\theta) \tag{10}$$

ou encore

$$\sigma(\vec{r}) = \mathrm{F}(s'(r)\mathrm{P}_1(\cos\theta) + g'(r)\mathrm{P}_3(\cos\theta)). \tag{11}$$

La façon de traiter ce cas des couches incomplètes est de supposer d'abord une fonction $u(\vec{r}_1)$ de la forme (8) et de compléter l'intégration sur les variables angulaires avant de faire varier $g(r)$ comme fonction d'une variable. L'erreur ainsi introduite peut être évaluée en traitant les deux problèmes fictifs où l'on donne au cosinus sa valeur maximale et minimale ou par des calculs détaillés des cas limites.

Ce procédé extrêmement simple peut sembler incapable d'exprimer des perturbations très compliquées. Mais il est peut-être encore possible de le simplifier tout en obtenant des résultats satisfaisants.

La méthode de Pople et Schofield, appliquée à l'atome d'hydrogène avec le champ généralisé :

$$v = -\mathrm{F}r^n\mathrm{P}_n\cos\theta) \tag{12}$$

détermine une fonction $u(r)$:

$$u(r) = +\mathrm{F}\left(\frac{r^n}{n} + \frac{r^{n+1}}{n+1}\right)\mathrm{P}_n(\cos\theta) \tag{13}$$

et une polarisabilité généralisée :

$$\alpha_n = \frac{(2n+4)(2n+1)!}{n\,2^{2n+1}}. \qquad (14)$$

Pople et Schofield eux-mêmes, Burns (5), Das et Berson (6), Wikner et Das (7), et d'autres chercheurs ont noté dans des cas divers les résultats satisfaisants obtenus par la méthode de variation de paramètres à partir de fonctions de la forme (13). Bien qu'il s'agisse de la détermination des orbitales perturbées ou d'une seule fonction par atome, ce sont les termes de puissances n et $n+1$ qui dominent pour les atomes polyélectroniques; les paramètres supplémentaires ont des effets négligeables.

Un programme général de calcul des polarisabilités et des coefficients de l'énergie de London est actuellement en cours d'élaboration.

Un entretien avec M. J. A. Pople nous a beaucoup aidé à clarifier ce problème.

(1) A. DALGARNO et D. PARKINSON, *Proc. Roy. Soc.* (London), A 250, 1959, p. 422-426.
(2) J. A. POPLE et P. SCHOFIELD, *Phil. Mag.*, 8e série, B, 2, 1957, p. 591-597.
(3) J. G. KIRKWOOD, *Z. Phys.*, 33, 1932, p. 57.
(4) R. A. BUCKINGHAM, *Proc. Roy. Soc.* (London), A 160, 1937, p. 94.
(5) B. BURNS, *Phys. Rev.*, 115, 1959, p. 357-365, *voir* p. 362.
(6) T. P. DAS et R. BERSON, *Phys. Rev.*, 102, 1956, p. 733.
(7) E. G. WIKNER et T. P. DAS, *Phys. Rev.*, 109, 1958, p. 360.

MAGNÉTISME. — *Trace de cycles d'hystérésis au moyen de circuits magnétiques ouverts.* Note (*) de MM. **Yves Angel** et **Gérad Marie**, transmise par M. Louis Leprince-Ringuet.

Dans une Note précédente ([1]), nous avons commenté quelques propriétés des corps ferromagnétiques soumis à l'action de deux champs perpendiculaires. Pour appliquer ces champs au sein d'une substance ferromagnétique, nous avons employé des échantillons tubulaires de ferrites revêtus d'enroulements *toroïdaux* pour les champ et induction « *transversaux* » et d'enroulements *solénoïdaux* pour les champ et induction « *longitudinaux* ».

Les enroulements toroïdaux étaient employés conformément à la méthode classique pour tracer les cycles d'hystérésis et les enroulements solénoïdaux servaient à obtenir la polarisation continue.

Le rapport longueur/diamètre des échantillons étant de l'ordre de 6, le champ démagnétisant était très important et il n'a pas été possible d'en obtenir une estimation, même approximative. C'est pourquoi les valeurs des champs H_L données dans les tableaux de ([1]) sont des valeurs « brutes » se référant au champ appliqué. Ces valeurs diffèrent donc fortement de celles du champ polarisant régnant effectivement au sein de la substance ferromagnétique.

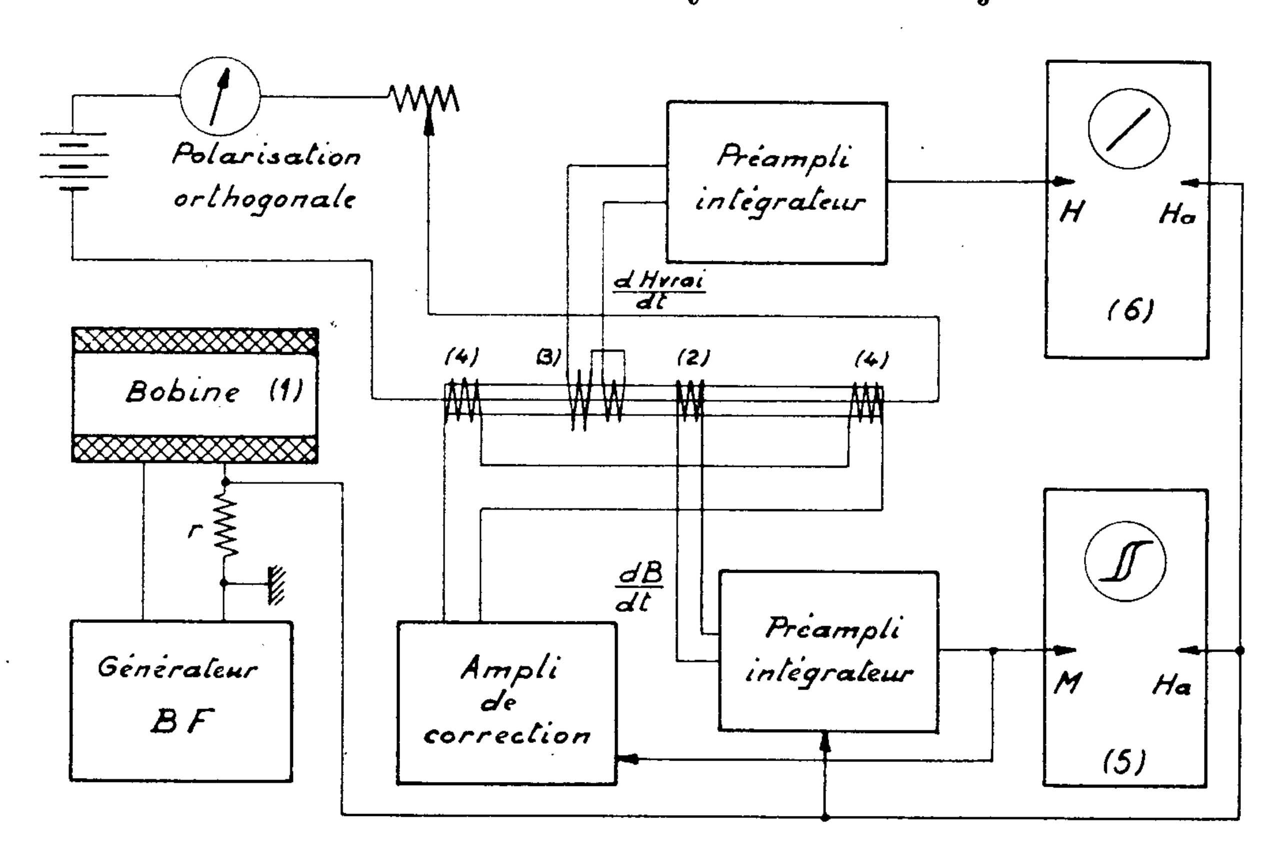
Pour permettre la mesure du champ polarisant « vrai » nous avons inversé les rôles des directions longitudinales et transversales. Ainsi l'échantillon se trouve maintenant polarisé par un champ dont les lignes de force sont de révolution. Il n'y a plus d'effet démagnétisant et le champ se calcule aisément. Par contre, se pose le problème de tracer les cycles des échantillons utilisés dans le sens de leur longueur.

Dans ce but, nous avons mis au point un dispositif inspiré, quant à son principe, des perméamètres pour échantillons cylindriques, mais réalisé sous une forme profondément différente. Plutôt que de refermer le circuit magnétique par une culasse sujette elle-même au phénomène d'hystérésis, ainsi qu'il est fait dans les perméamètres en question, nous avons laissé le circuit magnétique ouvert, les lignes d'induction se refermant dans l'air. La compensation de l'effet de la réluctance de l'air a été obtenue au moyen de bobines réalisées selon les principes suivants.

La non-linéarité de la loi d'aimantation fait que, dans le cas général, le champ démagnétisant d'un échantillon varie non seulement en grandeur mais en configuration lorsqu'on modifie l'état d'aimantation de celui-ci. Il cesse d'en être ainsi dans le cas d'échantillons cylindriques ou tubulaires soumis à une aimantation M uniforme, parallèle à l'axe de révolution. La distribution fictive équivalente se réduit alors à une couche de densité surfacique M sur les faces terminales de l'échantillon. On peut

alors compenser l'effet démagnétisant de l'aimantation en envoyant un courant proportionnel à M dans un ensemble de bobines qui créent un champ de même configuration que les charges répandues sur les faces terminales. Une solution rigoureuse existe théoriquement, mettant en jeu des solénoïdes de même axe que l'échantillon et dans le prolongement de celui-ci. Les densités de courant nécessaires, vu l'ordre de grandeur des champs à créer, sont telles que cette solution théorique ne peut être adoptée pratiquement.

Nous avons donc procédé par approximation en établissant par le calcul un jeu de bobines reproduisant *sur l'axe* le champ H_d créé par les charges fictives de l'une des extrémités. Au moyen de deux jeux de bobines conve-



nablement placées on peut ainsi assurer la correction du champ démagnétisant d'un échantillon quelle que soit la longueur de celui-ci. La correction réalisée sur l'axe subsiste au dehors de l'axe étant donné les propriétés connues des champs de révolution, dérivant d'un potentiel harmonique.

En fait, les bobines réalisées ne reproduisent approximativement H_d que sur le segment de l'axe intérieur à l'échantillon. Il en résulte une approximation supplémentaire dans la correction hors de l'axe et le développement en série de H_d en fonction de la distance à l'axe permet d'évaluer cette approximation.

L'appareillage (*fig.* 1) pour examen oscilloscopique des cycles comporte :

a. Une bobine (1) fournissant le champ extérieur appliqué H_a, dans lequel plonge l'échantillon. Cette bobine est alimentée par une source sinusoïdale à basse impédance constituée par un générateur basse fréquence suivi d'un amplificateur. La fréquence de fonctionnement est de l'ordre de 150 p/s. Dans le circuit de cette bobine est insérée une résistance de mesure *r*.

b. L'ensemble des bobines exploratrices (2) et (3) coulissables sur l'échantillon, mesurant l'induction B dans celui-ci et le champ H dans

son voisinage. Pour cette dernière mesure, (3) comporte deux enroulements de rayons différents, en opposition.

c. Deux préamplificateurs-intégrateurs recevant les tensions induites dans les bobines (2) et (3) et restituant des tensions proportionnelles, à chaque instant, à B et à H.

Celui de ces préamplificateurs qui restitue B comporte un dispositif de mélange de signaux permettant de soustraire H_a de telle sorte que le signal de sortie soit proportionnel à l'aimantation M du matériau et que la correction de « flux d'air » soit obtenue. Les réglages correspondants sont effectués par annulation de la tension de sortie en l'absence d'échantillon ferromagnétique.

d. Deux oscilloscopes cathodiques (5) et (6) donnant respectivement les cycles $M(H_a)$ et $H(H_a)$. Leurs entrées de déflexion verticale sont reliées aux sorties des préamplificateurs et leurs entrées de déflexion horizontale sont attaquées en commun par la différence de potentiel aux bornes de la résistance de mesure *r*.

e. Un ensemble de correction comprenant un jeu (4) de bobines solidaires des extrémités de l'échantillon et un amplificateur de puissance dont l'entrée est connectée à la sortie du préamplificateur fournissant le signal M. Les bobines sont connectées en série et reçoivent ainsi de l'amplificateur un courant proportionnel à l'aimantation. Le gain est réglé pour obtenir la droite $H = H_a$ sur (6).

On a veillé à réduire le plus possible les rotations de phase des amplificateurs. De plus, l'alimentation de la bobine (1) est faite à basse impédance pour que la variation de l'induction soit presque sinusoïdale. On choisit la fréquence de fonctionnement telle que, pour cette fréquence, le déphasage dans l'ensemble de la chaîne d'amplification soit nul. Ainsi l'erreur sur l'évaluation du champ coercitif peut-elle être réduite à une valeur négligeable.

Nos expériences ont porté sur des échantillons tubulaires de diamètre 4 mm environ et de longueur comprise entre 6 et 20 cm. Un échantillon de ferrite d'une longueur initiale de 17 cm ayant été progressivement raccourci jusqu'à 8 cm, les cycles tracés pour toutes les longueurs ont été comparés. Les écarts constatés, rapportés aux abscisses, n'excèdent 0,2 Oe en aucun point du cycle.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) Y. ANGEL et G. A. BOUTRY, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 384.

MAGNÉTISME. — *Propriétés magnétiques du niobate de manganèse et du niobate de cobalt.* Note (*) de MM. **Roland Aléonard** et **René Pauthenet**, transmise par M. Louis Néel.

Ces deux niobates sont antiferromagnétiques. On détermine les coefficients de champ moléculaire et met en évidence l'effet de l'anisotropie magnétocristalline sur la susceptibilité antiferromagnétique.

Les structures cristalline et magnétique du niobate de manganèse $Nb_2O_5.4MnO$ et du niobate de cobalt $Nb_2O_5.4CoO$ font l'objet d'une autre Note [1]. La Note ci-dessous est consacrée à l'étude des propriétés magnétiques de ces deux composés à l'état polycristallin. A différentes températures T, entre 2,5° K et l'ambiante, on amesuré la variation de l'aimantation spécifique σ en fonction du champ magnétique interne H_i ; au-dessus de la température ambiante, on a déterminé directement la susceptibilité χ au moyen d'une balance de translation. Les résultats se résument ainsi :

$Nb_2O_5.4MnO$ est antiferromagnétique (*fig.* 1), avec une température de Néel θ_N à 125°K et une température de Curie θ_p à — 250°K. Même aux très basses températures, les isothermes (σ, H_i), tracées jusqu'à environ 20 000 Oe, sont des droites dont le coefficient angulaire donne la valeur de la susceptibilité. Aux températures supérieures à θ_N, la courbe ($1/\chi$, T) définit une constante de Curie C égale à 17,24, soit 4,31 par ion Mn^{2+}, en bon accord avec la valeur 4,39 qu'on calcule pour cet ion dans l'état ^6S. Désignons par n et n' les coefficients de champ moléculaire représentant respectivement les interactions entre ions sur deux sous-réseaux différents et celles entre ions sur un même sous-réseau; à partir des valeurs numériques de θ_N et θ_p et de leurs expressions $\theta_N = (n'-n)\, C/2$ et $\theta_p = (n'+n)\, C/2$ [2] en fonction de n et n', on déduit $n = -21,6$ et $n' = -7,2$ avec $n = 3\, n'$; on remarque que la susceptibilité au zéro absolu est de l'ordre des 2/3 de la susceptibilité à la température de transition θ_N.

Des expériences relatives à $Nb_2O_5.4CoO$ (courbe 1, *fig.* 2), il est plus difficile de mettre en évidence l'antiferromagnétisme. Aux températures supérieures à 30°K, ($1/\chi$, T) suit une loi de Curie-Weiss avec $\theta_p = -10°$ et $C = 12,0$, soit 3,0 par ion Co^{2+} ; cette constante de Curie est comprise entre les valeurs 1,88 et 5,51 calculées respectivement pour le spin seul avec $S = 3/2$ et pour l'ion libre avec $J = L + S = 9/2$; elle est en accord avec la plupart des constantes de Curie expérimentales relatives à cet ion [3], [4], [5] et plus particulièrement avec les valeurs 3,07 dans CoO [6] et 3,02 dans $Fe_2O_3.CoO$ [7] : il apparaît ainsi que l'amplitude du blocage du moment sous l'effet du champ cristallin est du même ordre de grandeur dans CoO, $Fe_2O_3.CoO$ et $Nb_2O_5.4CoO$; il est à remarquer que dans ces composés, chaque ion Co^{2+} est entouré par un octaèdre d'ions oxygène. Aux températures inférieures à 30°K, les variations (σ,H_i) présentent une légère conca-

vité vers l'axe des σ (courbe 2, *fig.* 2); le rapport σ/H_i croît avec le champ; on a convenu de prendre pour valeur de la susceptibilité χ celle donnée par le coefficient angulaire de la tangente à l'origine à la courbe. Un résultat semblable a déjà été observé sur MnO et MnF_2 (5); il a été interprété (8), (9) en tenant compte de l'augmentation de susceptibilité due au fait que sous

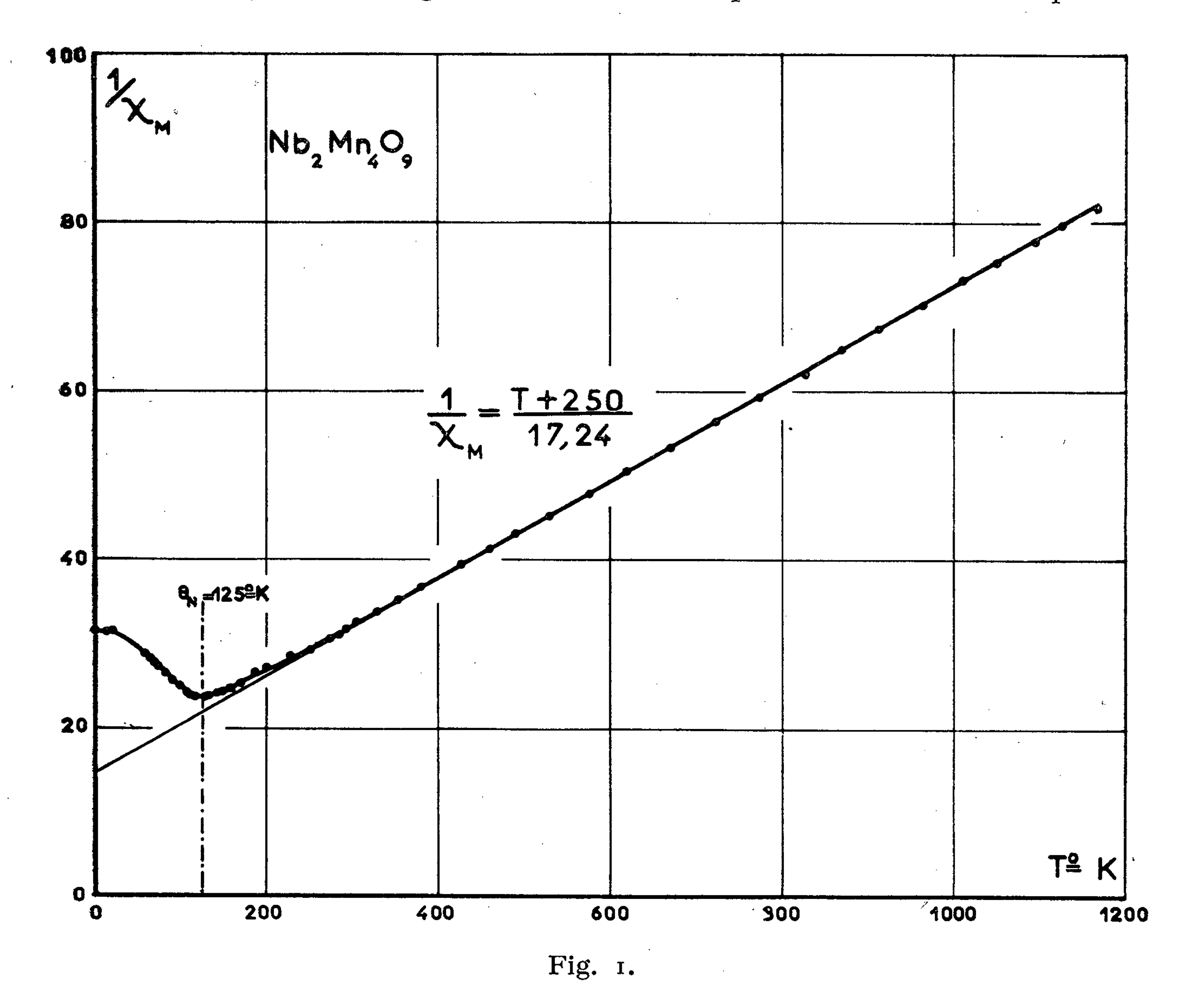


Fig. 1.

l'action du champ magnétique, la direction d'antiferromagnétisme tend à se rapprocher du plan perpendiculaire à ce champ. Lorsque l'énergie de couplage de la direction d'antiferromagnétisme est de la forme $K_1 \sin^2\theta$, θ étant l'angle de cette direction avec un axe lié au cristal, la susceptibilité d'une poudre dans un champ H s'exprime par la relation

$$\frac{1}{3}\chi_s + \frac{2}{3}\chi_p + \frac{2}{15}\frac{(\chi_s - \chi_p)^2}{K_1}H^2,$$

où χ_s et χ_p représentent respectivement les susceptibilités suivant la direction d'antiferromagnétisme et une direction perpendiculaire. A 4,2°K, χ_s étant très petit et négligeable, on trouve que K_1 doit être d'environ $1{,}3.10^6$ ergs/cm³. Cet effet du champ sur la susceptibilité n'a pas été observé sur $Nb_2O_5.4MnO$; ceci peut s'expliquer par le fait que, toutes choses égales par ailleurs, χ_p étant environ quatre fois plus petit, l'augmentation de sus-

ceptibilité est environ 16 fois plus faible. Aux températures inférieures à 30°K, la susceptibilité χ est approximativement constante; en admettant que la température de Néel soit à 30°K, on trouve $n = -3{,}34$ et $n' = 1{,}67$.

Pour ces deux niobates, dans un intervalle de températures de l'ordre de 300° au-dessus de θ_N, on a remarqué que la courbe $(1/\chi, T)$ est au-dessus

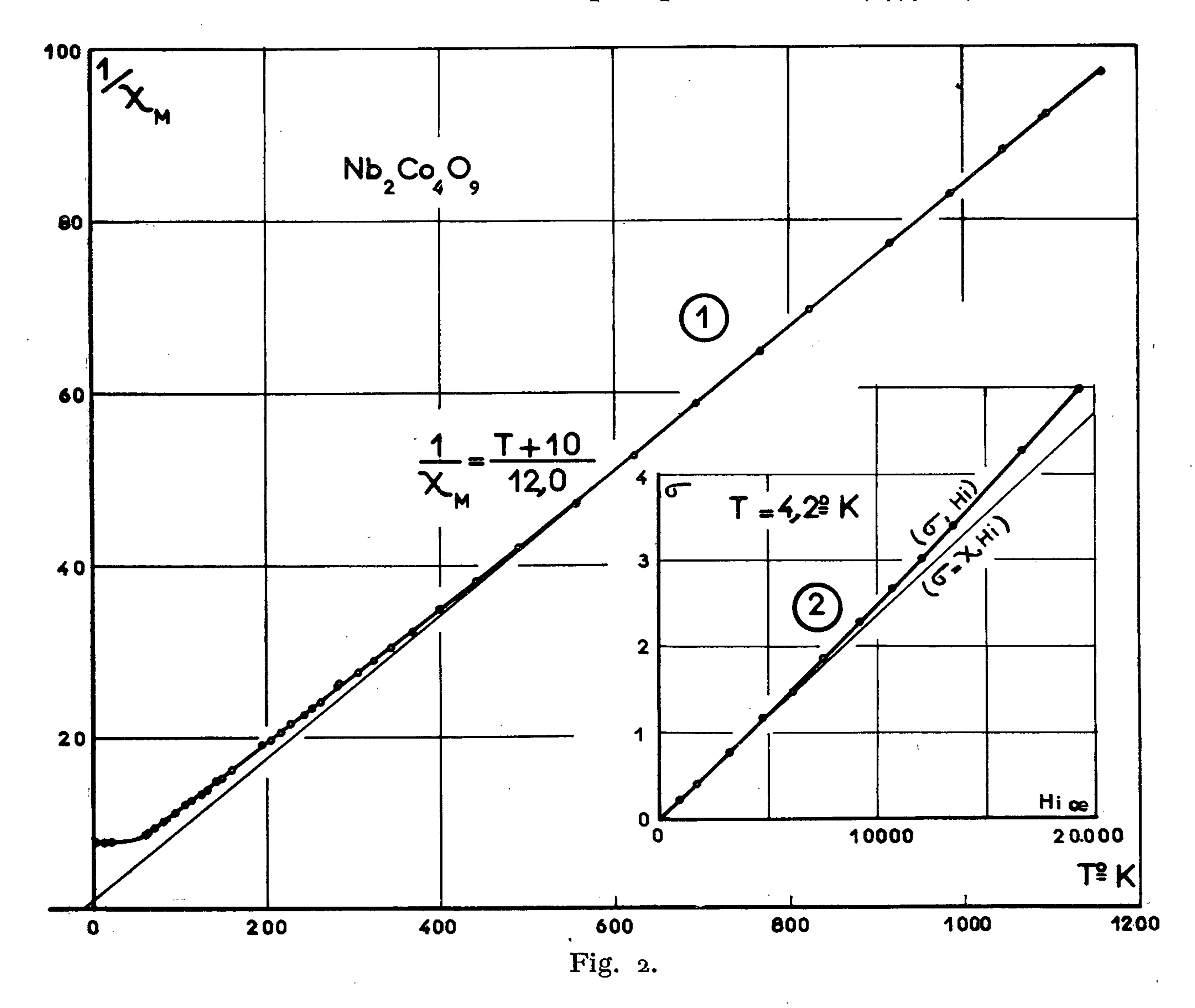


Fig. 2.

et s'écarte d'autant plus de la droite de paramagnétisme à haute température qu'on s'approche de θ_N. Cette allure de courbe, observée sur d'autres antiferromagnétiques (5), (6), est à rapprocher de celle mesurée sur les ferromagnétiques dans la zone paramagnétique; elle peut être due aux fluctuations du champ moléculaire (10).

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) E. F. Bertaut, L. M. Corliss et F. Forrat, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1733.
(2) L. Néel, *Ann. Phys.*, 3, 1948, p. 137.
(3) R. Benoit, *Comptes rendus*, 231, 1950, p. 1216.
(4) A. Serres, *Ann. Phys.*, 17, 1932, p. 5.
(5) H. Bizette, *Ann. Phys.*, 1, 1946, p. 233.
(6) F. Trombe, *J. Phys. Rad.*, 12, 1951, p. 171.
(7) M. Fallot et P. Maroni, *J. Phys. Rad.*, 12, 1951, p. 257.
(8) T. Nagamiya, *Prog. Theor. Phys.*, 4, 1951, p. 342.
(9) L. Néel, *Proc. Internat. Conf. on Theor. Phys.*, Kyoto, 1953.
(10) L. Néel, *Ann. Phys.*, 17, 1932, p. 5.

(*Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du Métal, Grenoble.*)

MAGNÉTISME. — *Structure cristallographique et magnétique de niobates et tantalates de métaux de transition bivalents.* Note (*) de MM. **Félix Bertaut**, **Lester Corliss** et **Francis Forrat**, transmise par M. Louis Néel.

La structure des composés $Nb_2M_4O_9$ et $Ta_2M_4O_9$ (M, métal de transition) est apparentée à celle du corindon Al_2O_3-α. La structure magnétique est décrite par des chaînes antiparallèles de spins M selon 1/3 2/3 $z\downarrow$ et 2/3 1/3 $z\uparrow$.

Les diagrammes Debye-Scherrer des composés $A_2O_5.4\,MO$ où A = Nb, Ta et M = Mg, Mn, Fe, Co (et Ni) montrent une analogie frappante avec le diagramme du corindon Al_2O_3 — α dont les substances $A_2M_4O_9$ dérivent par la double substitution $A^{5+} + 2\,M^{2+} = 3\,Al^{3+}$.

Tableau I.

Paramètres cristallins.

Formule.	Système.	Maille (Å) a.	Maille (Å) c.	DX (g/cm³).
$Nb_2Co_4O_9$........	Hexagonal	5,177	14,168	5,72
Fe_4O_9.........	»	5,233	14,236	5,44
Mn_4O_9........	»	5,335	14,320	5,19
Mg_4O_9........	»	5,171	14,173	4,32
$Ta_2Co_4O_9$.........	»	5,181	14,174	7,47
Mn_4O_9........	»	5,337	14,333	6,81
Mg_4O_9........	»	5,170	14,143	6,12
$Nb_2Ni_4O_9$........	Orthorhombique	a = 10,144; b = 17,468	c = 14,318	–

Le tableau I résume les paramètres en angströms et les densités en grammes par centimètre cube des mailles hexagonales. Des raies de surstructure, observées aux petits angles, indiquent clairement que les cations A^{5+} et M^{2+} s'ordonnent. Il semble logique en se basant sur les règles de Pauling ou sur des raisonnements d'énergie électrostatique, de placer les atomes A^{5+}, de charge élevée, aussi loin que possible les uns des autres et en tout cas dans des polyèdres d'oxygène n'ayant pas de faces communes. Cependant, aucun des modèles construit sur ces bases n'est compatible avec les intensités observées. La nature préfère un arrangement simple dans lequel les trois sous-réseaux d'aluminium dans le corindon, correspondant aux translations rhomboédriques 000; 2/3, 1/3, 1/3; 1/3, 2/3, 2/3 sont respectivement occupés par les ions A^{5+}, M_I^{2+} et M_{II}^{2+}. Dans cette structure les ions A^{5+} se trouvent couplés par paires dans des octaèdres d'oxygène ayant une face commune (1).

Nous avons obtenu des diagrammes de diffraction neutronique de $Nb_2Co_4O_9$ et de $Nb_2Mn_4O_9$ aux températures ordinaires, de l'azote

et de l'hélium liquides. La section efficace relativement élevée de l'oxygène permet alors mieux qu'aux rayons X de localiser les positions des atomes d'oxygène. D'une trentaine d'intensités de réflexion, mesurées à température ordinaire, nous avons déduit par itération de la méthode de moindres carrés les sept paramètres de position qui figurent au tableau II.

TABLEAU II.

Paramètres de position, groupe $P\bar{3}c1$.

Atomes.	Position.	$Nb_2Mn_4O_9$.	$Nb_2Co_4O_9$.
Nb	$4c$	$z = 0,3575$	$z = 0,360$
M_I	$4d$	$z = 0,0181$	$z = 0,027$
M_{II}	$4d$	$z = 0,297$	$z = 0,307$
O_I	$6f$	$x = 0,300$	$x = 0,305$
		$x = 0,334$	$x = 0,333$
O_{II}	$12g$	$y = 0,295$	$y = 0,295$
		$z = 0,084$	$z = 0,083$

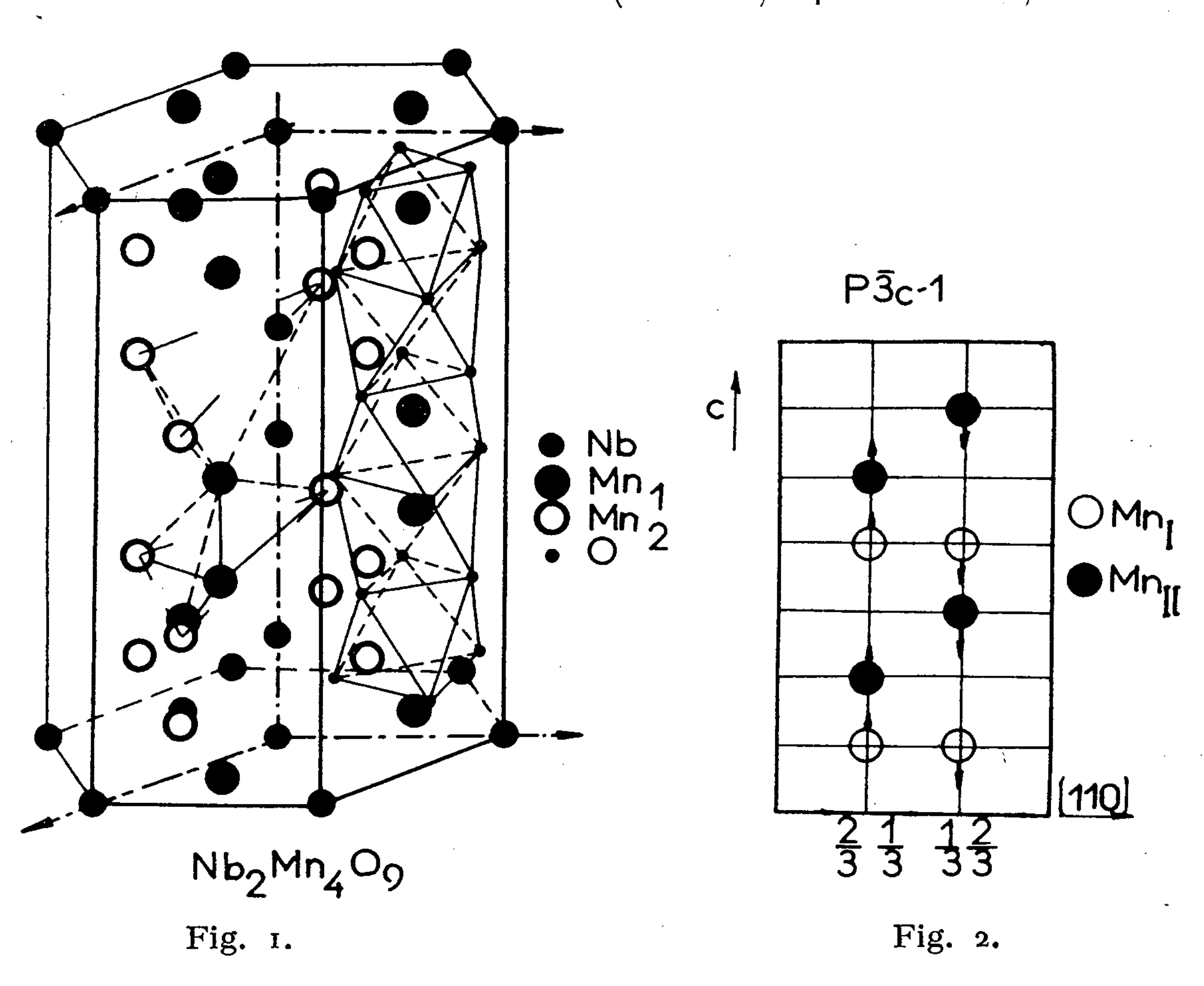


Fig. 1. Fig. 2.

Le facteur $R = \Sigma | I_{obs} - I_{calc} | / \Sigma I_{obs}$ est d'environ 0,07 pour les deux composés.

$Nb_2Mn_4O_9$. — A la température de l'azote liquide, on observe une variation très notable des intensités, attribuable à l'apparition d'un ordre antiferromagnétique. La structure magnétique est décrite par deux chaînes de spins, l'une le long de la droite 1/3 2/3 z (sous-réseau M_1, *fig.* 1), l'autre, le long de 2/3 1/3 z (sous-réseau M_2, *fig.* 1) et antiparallèle à la précédente. Le groupe magnétique (Schubnikov) est $P\bar{3}c'1$. La figure 2 présente les positions cristallographiques (M_I ○ et M_{II} ● du tableau II et de la

figure 2) et directions des spins des cations magnétiques. A première vue les voisins les plus proches dans une chaîne semblent être liés par des interactions positives.

Cependant, les mesures d'Aléonard et Pauthenet ([2]) montrent que les interactions aussi bien dans la chaîne qu'entre les chaînes sont négatives. Cela confirme d'ailleurs la prédiction théorique de Goodenough ([3]) selon laquelle les interactions directes Mn^{2+} — Mn^{2+} sont négatives. A la température de l'hélium liquide la contribution magnétique à l'intensité augmente considérablement et conduit à une valeur, en accord avec les mesures magnétiques ([2]), de $S = 5/2$. Cela prouve qu'on est proche de la saturation.

$Nb_2Co_4O_9$. — Aucune variation notable des intensités n'est observée à la température de l'azote liquide. A celle de l'hélium liquide (4,2° K), la contribution magnétique est nette. Le meilleur accord avec l'expérience est obtenu avec une structure magnétique identique à la précédente et une valeur $S\sigma_T/\sigma_0 = 3/2$ (σ_T, saturation à 4,2° K; σ_0, saturation absolue). Ce résultat rend assez probable qu'à 0° K le spin seul du Co^{2+} intervient. Remarquons que les mesures paramagnétiques ($T > 40°$ K) ([2]) conduisent à S (Co) = 2.

$Nb_2Ni_4O_9$. — La structure (*cf.* tableau I) sera étudiée ultérieurement. Un Mémoire plus détaillé paraîtra ailleurs.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) Comme les cations Al^{+3} dans la structure de corindon. Celle-ci déterminée par L. Pauling et S. B. Hendricks (*J. Amer. Chem. Soc.*, 47, 1925, p. 781) constitue une exception à la règle de Pauling sur les polyèdres de coordination.

([2]) R. ALÉONARD et R. PAUTHENET, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1730.

([3]) J. B. GOODENOUGH, *Lincoln Laboratory*, M. I. T. Report n° 53-21, septembre 1959.

(*Centre d'Études nucléaires de Grenoble
et Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du Métal.*)

ÉLECTROMAGNÉTISME THÉORIQUE. — *Théorie du câble coaxial à charge uniformément répartie.* Note (*) de M. **Paul Poincelot**, présentée par M. Louis de Broglie.

La charge continue des câbles coaxiaux a fait l'objet de plusieurs publications [1], [2], [3]. Les progrès accomplis au cours des dernières années, dans le domaine des substances diélectriques et magnétiques, notamment des ferrites, paraissent donner de l'intérêt au procédé. J'ai l'intention d'appliquer la méthode exposée dans une précédente Note [4] à l'étude de la structure coaxiale dont la figure représente une section droite. Les milieux 1 et 5 sont constitués par un métal de même nature, 2 et 4 par des diélectriques, qui peuvent être différents. Le milieu 3 possède une perméabilité magnétique élevée; c'est, par exemple, un ferrite. Je suppose encore ici que le milieu 5 s'étend à l'infini; cette hypothèse trouve sa justification dans le fait que, pour les fréquences envisagées, de plusieurs mégahertz, l'épaisseur de la coque de Kelvin est très petite par rapport au rayon r_4.

Je pose, comme dans la Note précitée :

$$k=\sqrt{\mu\varepsilon\omega^2-i\mu\sigma\omega} \qquad [\mathcal{R}(k)>0,\ \mathcal{I}(k)<0], \tag{1}$$

$$u=\sqrt{k^2+\alpha^2} \qquad [\mathcal{R}(u)>0,\ \mathcal{I}(u)<0], \tag{2}$$

Je recherche un mode de propagation à symétrie cylindrique et à variables séparées, de la forme

$$\mathcal{H}=f(\rho)\,e^{-\alpha z}, \tag{3}$$

où la quantité complexe α est à déterminer par ce qui suit. Je pose encore

$$\frac{u}{i\omega\varepsilon+\sigma}=\varpi. \tag{4}$$

Les quantités u et ϖ seront affectées des indices 1, 2, 3, 4, 1, respectivement, pour les milieux 1, 2, 3, 4, 5. La méthode me conduit, pour l'expression de $\mathcal{H}$ et E_z, à des expressions analogues aux relations (12)-(14) et (15)-(17) de ma Note précédente. Il en résulte un système algébrique linéaire et homogène de huit équations à huit inconnues $A_1, A_2, \ldots, A_8$, dont l'expression est la suivante :

$$A_1 J_1(r_1u_1)-A_2J_1(r_1u_2)-A_3N_1(r_1u_2)=0, \tag{5}$$

$$A_2J_1(r_2u_2)+A_3N_1(r_2u_2)-A_4J_1(r_2u_3)-A_5N_1(r_2u_3)=0, \tag{6}$$

$$A_4J_1(r_3u_3)+A_5N_1(r_3u_3)-A_6J_1(r_3u_4)-A_7N_1(r_3u_4)=0, \tag{7}$$

$$A_6J_1(r_4u_4)+A_7N_1(r_4u_4)-A_8H_1^{(2)}(r_4u_1)=0, \tag{8}$$

$$A_1\varpi_1J_0(r_1u_1)-A_2\varpi_2J_0(r_1u_2)-A_3\varpi_2N_0(r_1u_2)=0, \tag{9}$$

$$A_2\varpi_2J_0(r_2u_2)+A_3\varpi_2N_0(r_2u_2)-A_4\varpi_3J_0(r_2u_3)-A_5\varpi_3N_0(r_2u_3)=0, \tag{10}$$

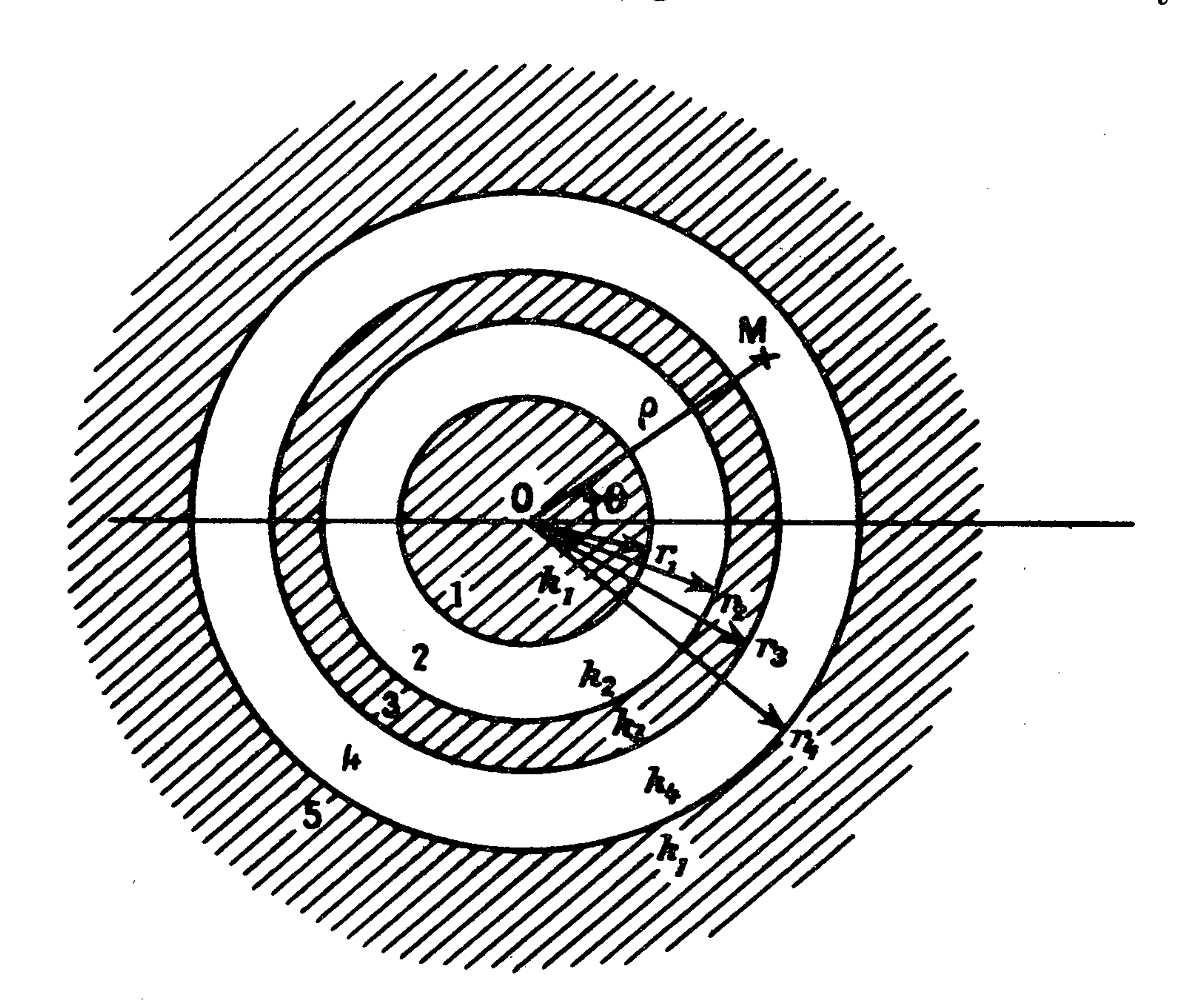
$$A_4\varpi_3J_0(r_3u_3)+A_5\varpi_3N_0(r_3u_3)-A_6\varpi_4J_0(r_3u_4)-A_7\varpi_4N_0(r_3u_4)=0, \tag{11}$$

$$A_6\varpi_4J_0(r_4u_4)+A_7\varpi_4N_0(r_4u_4)-A_8\varpi_1H_0^{(2)}(r_4u_1)=0. \tag{12}$$

Soit Δ le déterminant des coefficients des inconnues A_1, A_2, ..., A_8; on vérifie facilement que Δ n'est pas identiquement nul. L'expression

$$\Delta = 0 \tag{13}$$

conduit à une équation transcendante dont l'inconnue est α. La résolution approximative de cette équation pour le calcul approché de la racine convenable est à la portée d'un laboratoire spécialisé, pourvu des machines à calculer modernes. Le calcul serait facilité par le fait que Δ contient plusieurs éléments nuls; en outre, les arguments des fonctions cylindriques



qui figurent dans les éléments de Δ sont tels que leurs modules sont très grands ou très petits par rapport à l'unité. D'ailleurs, les fonctions cylindriques ont été l'objet de très nombreux travaux et se trouvent abondamment tabulées ([5]), ([6]), ([7]); α connu, l'on pourra résoudre le système (5)-(2), en tirer des valeurs proportionnelles à A_1, A_2, ..., A_8, pour exprimer les champs en tous points, à un facteur constant près.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) P. M. Prache, *Noyaux et coquilles magnétiques*, Dunod, 1952; *Câbles et Transmission*, janvier et avril 1952.

([2]) G. Raisbeck, *Attenuation in continuously loaded coaxial cables* (*Bell syst. tech. J.*, mars 1958, p. 361-374).

([3]) P. M. Prache, *Charge continue sans entrefer des circuits coaxiaux* (*Câbles et Transmission*, juillet 1960, p. 180-190).

([4]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1623.

([5]) G. N. Watson, *Theory of Bessel functions*, Cambridge, University Press.

([6]) G. Petiau, *La théorie des fonctions de Bessel exposée en vue de ses applications à la Physique mathématique*, C. N. R. S., 1955.

([7]) *Tables of the Bessel functions*, Harvard University Press.

ÉLECTROMAGNÉTISME. — *Propagation des ondes du type transversal électrique dans un guide d'ondes rectangulaire rempli de ferrite et magnétisé transversalement.* Note (*) de MM. **Roger Alfandari** et **Robert Pauchard**, présentée par M. Louis de Broglie.

L'application d'un champ magnétique transversal perpendiculaire au plan de polarisation d'une onde guidée en milieu ferrimagnétique transforme une onde TE_{n0} incidente en onde TE_{0p}. L'existence de ces derniers modes est vérifiée expérimentalement.

Un milieu ferrimagnétique soumis à un champ magnétique constant H_0 devient anisotrope. Si H_0 est parallèle à Ox, il existe entre le vecteur champ magnétique de l'onde H et le vecteur induction B la relation [1]

$$\left.\begin{aligned} B_x &= \mu_x H_x \\ B_y &= \mu\ H_y - jk H_z \\ B_z &= jk\ H_y + \mu\ H_z \end{aligned}\right\} \qquad \left[j = (-1)^{\frac{1}{2}}\right].$$

M. L. Kales [2] a étudié le cas où H_0 est parallèle à la direction de propagation de l'onde, A. Chevalier et E. Polacco [3] le cas où H_0 est perpendiculaire à cette direction de propagation, mais parallèle à l'épaisseur du guide. Mais si le guide est rectangulaire et si H_0 est perpendiculaire au plan de polarisation de l'onde incidente, donc perpendiculaire à l'épaisseur du guide, il existe un mode TE_{0p}.

Dans le cas des ondes transverses électriques ($E_z \equiv 0$), les équations de Maxwell, pour une onde

$$\vec{E} = \vec{E}\exp[j(\omega t + \beta z)], \qquad \vec{H} = \vec{H}[\exp(j\omega t + \beta z)]$$

peuvent être résolues par rapport à H_z et se réduisent au système

$$(1)\qquad E_x = \frac{j\omega}{\varepsilon\mu\omega^2 - \beta^2}\left[-\mu\frac{\partial H_z}{\partial y} + \beta k H_z\right],$$

$$(2)\qquad E_y = \frac{j\omega\mu_x}{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}\frac{\partial H_z}{\partial x},$$

$$(3)\qquad H_x = \frac{-j\beta}{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}\frac{\partial H_z}{\partial x},$$

$$(4)\qquad H_y = \frac{j}{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}\left[\varepsilon k\omega^2 H_z - \beta\frac{\partial H_z}{\partial y}\right],$$

$$(5)\qquad \frac{\beta}{\varepsilon\omega}\left[\frac{1}{\varepsilon\mu\omega^2 - \beta^2} - \frac{1}{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}\right]\frac{\partial^2 H_z}{\partial x\partial y} - \frac{k\omega}{\varepsilon\mu\omega^2 - \beta^2}\frac{\partial H_z}{\partial x} = 0,$$

$$(6)\qquad H_z\left[\mu - \frac{\omega^2 k^2\varepsilon}{\varepsilon\mu\omega^2 - \beta^2}\right] + \frac{\mu_x}{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\mu}{\varepsilon\mu\omega^2 - \beta^2}\frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} = 0.$$

Les équations (5) et (6) admettent une solution de la forme

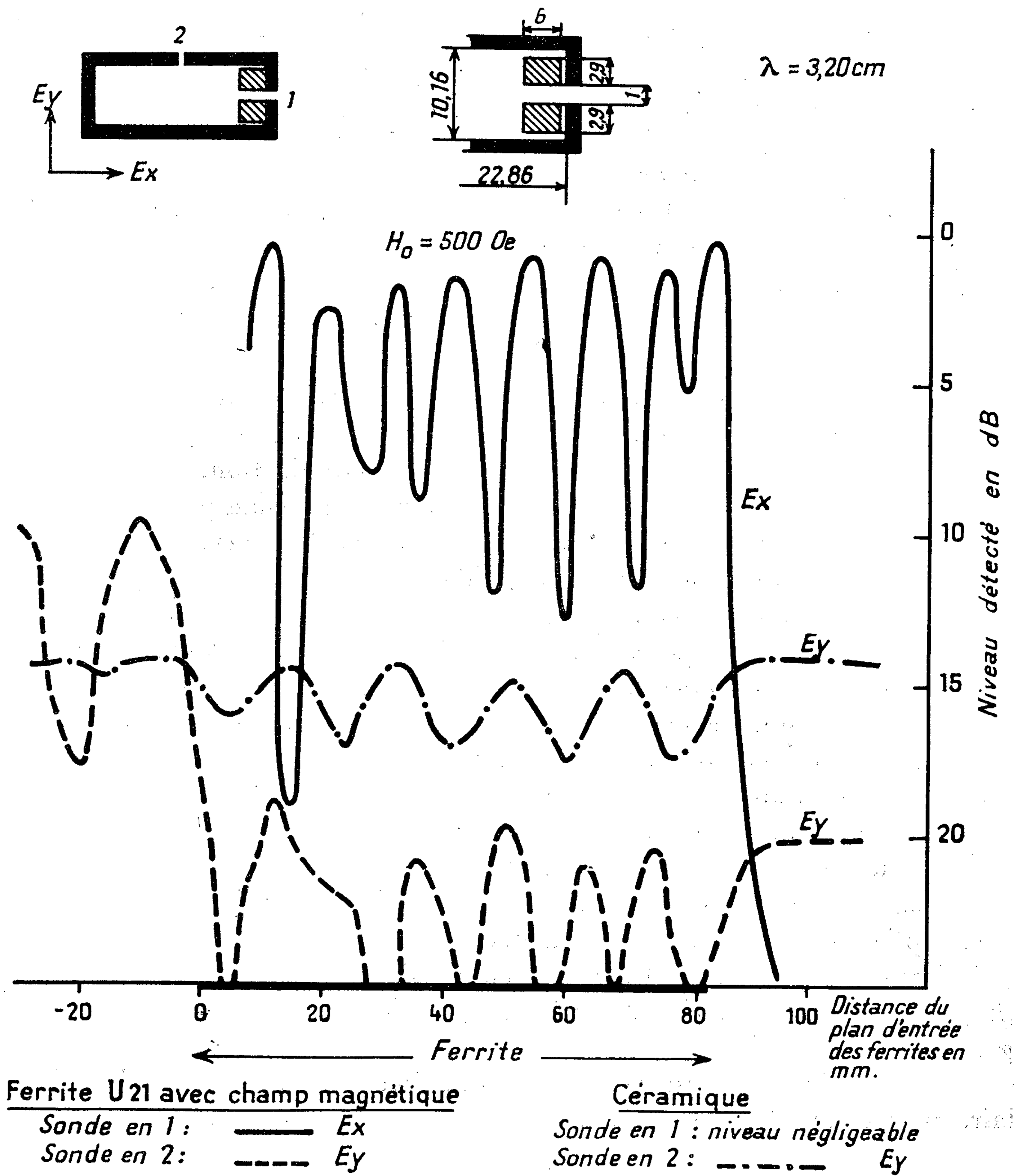
$$H_z = e^{-\frac{B}{A}y}[C_1\sin k_m x + C_2\cos k_m x] + C_3\sin k_n y + C_4\cos k_n y,$$

avec

$$(7) \qquad k_m^2 = \frac{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}{\mu_x} \frac{\mu\beta^2[(\mu_x - \mu_0)^2 - k^2] + k^2\varepsilon\mu_x^2\omega^2}{\beta^2(\mu_x - \mu)^2}, \qquad k_n^2 = \varepsilon\omega^2\frac{\mu^2 - k^2}{\mu} - \beta^2;$$

$$\frac{B}{A} = -\frac{k}{\beta}\frac{\varepsilon\mu_x\omega^2 - \beta^2}{\mu_x - \mu}$$

C_1, C_2, C_3 et C_4 étant des constantes arbitraires.



Les équations (1) à (4) permettent le calcul des autres composantes.

Les conditions aux limites auxquelles doivent satisfaire E_x et E_y nécessitent

$$C_1 = C_2 = 0, \qquad \frac{\partial H_z}{\partial x} = 0 \qquad \text{et par suite} \quad E_y = H_x = 0,$$

ainsi que

(8) $$k_n = \frac{p\pi}{b} \qquad (p = 1, 2, \ldots, r).$$

La solution devient alors

$$E_x = E_0 \sin\frac{p\pi}{b} y \exp[j(\omega t + \beta z)],$$

$$H_y = \frac{E_0 \mu}{\omega(\mu^2 - k^2)}\left[\beta \sin\frac{p\pi}{b} y + \frac{k}{\mu}\frac{p\pi}{b}\cos\frac{p\pi}{b} y\right]\exp[j(\omega t + \beta z)],$$

$$H_z = \frac{-jE_0\mu}{\omega(\mu^2 - k^2)}\left[\frac{k\beta}{\mu}\sin\frac{p\pi}{b} y + \frac{p\pi}{b}\cos\frac{p\pi}{b} y\right]\exp[j(\omega t + \beta z)],$$

E_0 étant une constante arbitraire.

Les équations (7) et (8) permettent de définir une pulsation de coupure. Cette pulsation correspond en effet à $\beta = 0$, donc

$$\omega_c = \frac{p\pi}{b}\left[\frac{\mu}{\varepsilon(\mu^2 - k^2)}\right]^{\frac{1}{2}}.$$

Il en résulte que les seuls modes transverses électriques, susceptibles de se propager dans un tel milieu, sont les modes à composante de champ électrique parallèle au champ magnétique de polarisation.

Une vérification expérimentale, par analyse du champ électrique au voisinage des différentes parois du guide, a permis de mettre en évidence l'existence d'un tel mode dans un guide partiellement rempli de ferrite et magnétisé parallèlement à la grande face du guide, au voisinage du plan d'entrée. Le guide est percé de petits trous distants de 4 mm au centre des petites et des grandes faces du guide. Une petite antenne, constituée par l'extrémité d'un câble coaxial, permet le relevé du champ électrique au voisinage de chaque trou. Deux prismes de ferrite de manganèse-magnésium remplissent partiellement le guide, au voisinage de la petite paroi percée. Une contre-mesure à l'aide d'une céramique de constante diélectrique proche de celle du ferrite permet de vérifier l'appareillage. Les résultats sont consignés sur les courbes ci-contre.

L'application d'un champ magnétique, perpendiculaire au plan de polarisation au voisinage du plan d'entrée du prisme de ferrite, s'accompagne de la transformation du mode TE_{10} incident en mode TE_{01} se propageant dans le ferrite.

Ces conclusions sont immédiatement applicables au cas du guide circulaire propageant le mode TE_{11}.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) D. POLDER, *Phyl. Mag.*, 40, 1949, p. 99.

(2) *J. Appl. Phys.*, 24, 1953, p. 604.

(3) *Comptes rendus*, 239, 1954, p. 692.

ÉLECTROMAGNÉTISME. — *Théorie classique de l'absorption du rayonnement par des particules* (1). Note (*) de M. **Émile Le Roux**, présentée par M. André Danjon.

Dans le cadre de la relativité restreinte, on calcule l'interaction d'une particule de charge e, de masse m, évoluant avec une vitesse $\vec{v}$ dans des potentiels statiques $\vec{A}$, ψ, vectoriel et scalaire, avec une onde plane harmonique de fréquence ν. On oriente les axes de référence du système cartésien $Oxyz$: $\overrightarrow{Ox}$ suivant la direction et le sens de propagation de l'onde plane, Oy suivant la direction du champ électrique de l'onde. On exprime la fonction d'Hamilton $H = mc^2 + e\psi$ en fonction des variables $x, y, z, \pi_x, \pi_y, \pi_z, \alpha = t - (x/c)$, où x, y, z, t sont les coordonnées de la particule, et où $\pi_x = p_x - (H/c)$, $\pi_y = p_y$, $\pi_z = p_z$, p_x, p_y, p_z étant les composantes du moment $\vec{p} = m\vec{v} + e\vec{A}$. Soit $f(\alpha)$ la valeur du champ électrique de l'onde; les équations du mouvement sont celles d'une perturbation du système d'Hamilton :

$$(1)\quad \begin{cases} \dfrac{dx}{d\alpha} = \dfrac{\partial H}{\partial \pi_x}, & \dfrac{dy}{d\alpha} = \dfrac{\partial H}{\partial \pi_y}, & \dfrac{dz}{d\alpha} = \dfrac{\partial H}{\partial \pi_z}; \\ \dfrac{d\pi_x}{a\alpha} = -\dfrac{\partial H}{\partial x}, & \dfrac{d\pi_y}{d\alpha} = -\dfrac{\partial H}{\partial y} + ef(\alpha), & \dfrac{d\pi_z}{d\alpha} = -\dfrac{\partial H}{\partial z}. \end{cases}$$

1. $f = 0$. — On résout d'abord les équations du système non perturbé : $f = 0$. Le système (1) admet alors six intégrales premières, dont l'intégrale d'énergie H :

$$(2)\qquad H_1 = H = C_1, \qquad H_2 = C_2, \qquad \ldots, \qquad H_5 = C_5, \qquad H_6 - \alpha = C_6,$$

$H_1, \ldots, H_6$ étant des fonctions des x_i, π_i et *non de* α, $H_n = H_n(x_i, \pi_i)$, et $C_1, \ldots, C_6$ étant des constantes. Il s'ensuit que toute fonction des x_i, π_i peut s'exprimer en fonction des $H_1, \ldots, H_6$, où $H_1, \ldots, H_5$ sont des constantes dans le mouvement non perturbé, et où $dH_6 = d\alpha$; ceci permettra de calculer aisément les perturbations à partir des variations des intégrales premières, par séries de Taylor.

Le champ électrique rayonné en un point P à l'infini dans la direction et le sens $\overrightarrow{Ox}$, s'exprime simplement; sa composante suivant Oy est

$$(3)\qquad E_y = -\frac{e}{4\pi r \varepsilon c^2}\frac{d}{d\alpha}\frac{v_y}{1 - \dfrac{v_x}{c}},$$

où $r = OP$ et où ε est la constante diélectrique du vide. Sa transformée de Fourier par rapport au temps α relatif au point P, est

$$(4)\qquad \int_{-\infty}^{\infty} E_y(\alpha)\, e^{-j\omega\alpha}\, d\alpha = -\frac{e}{4\pi r \varepsilon c^2} j\omega A_1(\omega),$$

où, d'une manière générale, $\Lambda_n(\omega)$ est la transformée de Fourier, par rapport à α, du terme $\lambda_n(H_i) = \partial H_n/\partial \pi_y$.

On fait ensuite la statistique en admettant l'hypothèse ergodique de Boltzmann : la densité de particules par unité de volume de l'espace d'extension en phase x_i, p_i, est une fonction ρ (H) de H. D'ailleurs, en désignant, dans l'espace x_i, π_i, par $\vec{dl}$ l'élément de longueur le long d'une trajectoire, le système (1) détermine les composantes $dx_i/d\alpha$ et $d\pi_i/d\alpha$ de la vitesse $\vec{dl}/d\alpha$. Soient, dans cet espace x_i, π_i, $d\varpi$ l'élément de volume et $d\sigma$ l'élément d'aire sur une surface H = Cte; on a la relation

$$d\varpi = dH \frac{d\sigma}{dl} d\alpha \tag{5}$$

qui permet d'éliminer les intégrations par rapport au temps α dans les calculs statistiques.

On obtient ainsi la puissance moyenne A (ω) ρ (H) dH rayonnée en P par stéradian et par hertz, dans la polarisation Oy, à la fréquence ν, par les particules d'énergies comprises entre H et H + dH, où

$$A(\omega) = \frac{e^2\nu^2}{2\varepsilon c^3}\int_H \frac{d\sigma}{dl}\Lambda_1(\omega)\Lambda_1(-\omega), \tag{6}$$

l'intégrale étant étendue à la surface H = Cte.

2. $f = 0$. — On résout le système (1) perturbé. On a immédiatement les variations des intégrales premières :

$$\left\{\begin{aligned} &dH_n = \frac{\partial H_n}{\partial \pi_y} ef d\alpha \qquad (n = 1, 2, \ldots, 5),\\ &d(H_6 - \alpha) = \frac{\partial H_6}{\partial \pi_y} ef d\alpha. \end{aligned}\right. \tag{7}$$

On en déduit la variation d'énergie au second ordre par rapport à f, sur une trajectoire, durant un temps qu'on fait tendre vers l'infini

$$\Delta H_1 = e^2\int_{-\infty}^{\infty} f d\alpha \sum_{n=1}^{6}\frac{\partial\lambda_1}{\partial H^n}\int_{-\infty}^{\alpha}\lambda_n f d\alpha, \tag{8}$$

où les λ_n sont les fonctions non perturbées, et l'on a la puissance moyenne $P_A\,\rho$ (H) dH absorbée par les particules d'énergies comprises entre H et H + dH, où

$$P_A = \int_H \frac{d\sigma}{dl}\Delta H_1. \tag{9}$$

La fonction $f(\alpha)$ étant sinusoïdale, de fréquence ν, on en déduit, I étant l'intensité de l'onde :

$$P_A = \frac{e^2 I}{2\varepsilon c}\sum_{n-1}^{6}\int_H \frac{d\sigma}{dl}\Lambda_n(-\omega)\Lambda'_{1n}(\omega), \tag{10}$$

Λ'_{1n} étant la transformée de Fourier par rapport à α, du terme $\partial\lambda_1/\partial H_n$.

On vérifie alors l'identité

$$P_A = \frac{c^2}{\nu^2} I \frac{dA}{dH}. \qquad (11)$$

Cette relation entre l'émission et l'absorption est valable pour une direction et une polarisation données, et une fréquence donnée.

Dans le cas particulier de l'équilibre thermique, on a la fonction $\rho(H) = e^{-H/kT}$, et l'on déduit immédiatement la loi de Rayleigh, et, en quantifiant l'énergie, $dA/dH = 1/h\nu\,[A(H + h\nu) - A(H)]$, la loi de Planck.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) En cours d'impression aux *Annales d'Astrophysique.*

(*Observatoire de Paris-Meudon.*)

ÉLECTRONIQUE. — *Extension de la méthode de Gans au calcul de trajectoires électroniques en champs croisés.* Note (*) de MM. **René Vauthier** et **Jean Chantreau**, transmise par M. Gaston Dupouy.

Nous envisageons les trajectoires de particules chargées soumises aux actions simultanées d'un champ électrique à symétrie plane et d'une induction magnétique croisée; dans le cas d'une induction magnétique uniforme et en se plaçant dans l'approximation de Gauss, nous exposons une méthode de calcul des trajectoires en partant d'hypothèses analogues à celles de la méthode de Gans. Les résultats obtenus s'appliqueront tout naturellement à l'étude de sources d'ions de type Nier utilisées en spectrométrie de masse.

Considérons dans le système d'axes xyz un champ électrique symétrique par rapport au plan yOz et une induction magnétique uniforme croisée $\vec{B}$. Le mouvement, dans le plan de section principal xOz, d'un ion de masse m et de charge e est régi par les équations différentielles classiques :

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = e(E_x + Bv_z), \tag{1}$$

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = e(E_z - Bv_x), \tag{2}$$

v_x et v_z étant les composantes de la vitesse de l'ion suivant Ox et Oz respectivement.

L'énergie cinétique de l'ion n'étant pas perturbée par la présence de l'induction magnétique $\vec{B}$, on peut écrire

$$\frac{1}{2}m(v_z^2 + v_x^2) = eV(z, x), \tag{3}$$

$V(z, x) = U(z_0, x_0) - U(z, x)$ représentant, au coefficient e près, la variation d'énergie potentielle entre le point (z_0, x_0) — où les ions ont une vitesse nulle — pris comme origine des potentiels, et le point (z, x).

En se plaçant dans le cas de l'approximation de Gauss ($v_x \ll v_z$), on admet

$$\frac{1}{2}mv_z^2 = eV(z, x). \tag{4}$$

L'intégration des équations différentielles (1) et (2) compte tenu de (4) et du développement de $V(z, x)$ en fonction de E_z et E_x, conduit alors à l'équation différentielle du mouvement des ions :

$$2V(z)x'' + V'(z)x' + V''(z)x = B\sqrt{\frac{2e}{m}}\sqrt{V(z)}. \tag{5}$$

Partant de l'hypothèse de Gans [2] nous assimilons la trajectoire à une succession d'arcs ne se raccordant pas et pour chacun desquels nous faisons l'hypothèse $V''(z) = 0$.

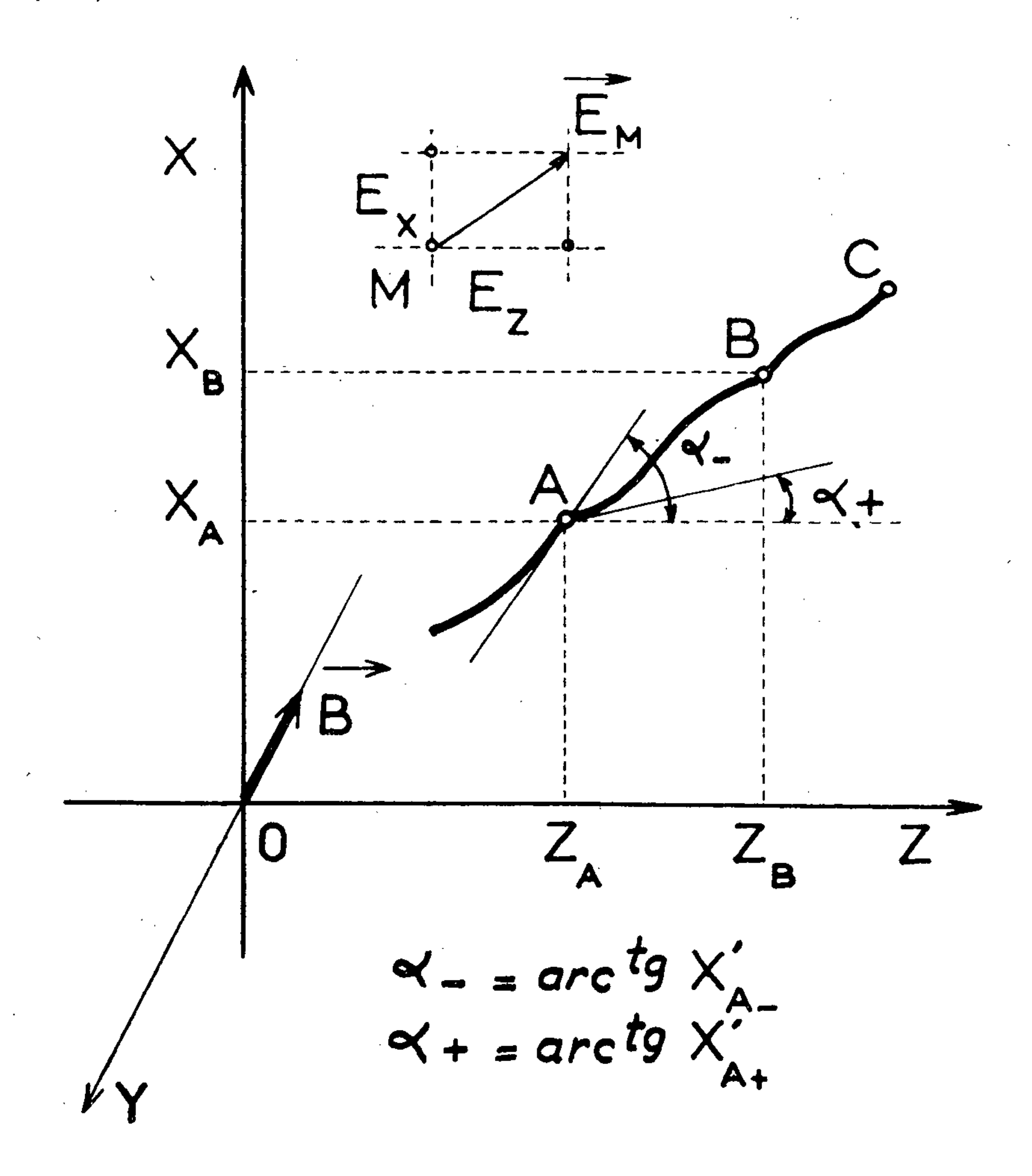
La trajectoire étant ainsi décomposée en une suite d'intervalles, il nous faut intégrer, sur chacun d'eux, l'équation

$$2V(z)x'' + V'(z)x' = B\sqrt{\frac{2e}{m}}\sqrt{V(z)}. \tag{6}$$

La recherche, pour (6), de solutions de la forme $x' = uv$ conduit à

$$2x'(V)^{\frac{1}{2}} = C + az, \tag{7}$$

où $a = B(\sqrt{2e/m})$ et C, constante sur un intervalle.



En appliquant la relation (7) sucessivement aux points $A(z_A, x_A)$ et $B(z_B, x_B)$ on obtient

$$2x'_B(V_B)^{\frac{1}{2}} = 2x'_A(V_A)^{\frac{1}{2}} + a(z_B - z_A). \tag{8}$$

Appelons $x'_{A-} = (dx/dz)_{A-}$ la pente de la trajectoire avant réfraction à la frontière d'un intervalle, et $x'_{A+} = (dx/dz)_{A+}$ la pente après réfraction en A. Connaissant x_A et x'_{A+}, le calcul de x_B à partir de (7) conduit, par intégration, à la relation

$$x_B = x_A + \frac{1}{V'_{AB}}\left(C + az_A - a\frac{V_A}{V'_{AB}}\right).\left(V_B^{\frac{1}{2}} - V_A^{\frac{1}{2}}\right) + \frac{a}{3(V'_{AB})^2}\left(V_B^{\frac{3}{2}} - V_A^{\frac{3}{2}}\right); \tag{9}$$

V'_{AB} représente la dérivée de $V(z)$ sur l'intervalle AB;
$C + az_A$ est déterminé à partir de (7);
V_A et V_B représentent, au coefficient e près, les énergies cinétiques acquises par l'ion aux points A et B respectivement.

A la jonction B de deux segments l'induction magnétique ne présente pas de discontinuité; on retrouve donc le résultat connu de la méthode de Gans :

$$x'_{B+} = x'_{B-} + x_B \frac{(V'_{B-}) - (V'_{B+})}{2V_B} \qquad (10)$$

qui traduit la réfraction des trajectoires à la frontière des intervalles.

Le processus de calcul d'une trajectoire sur un intervalle sera donc le suivant :

1° x_A et x'_{A+} étant connus à l'entrée A de l'intervalle AB, l'équation (7) permet de calculer la valeur de la constante C dans cet intervalle;

2° les équations (8) et (9) fournissent les valeurs de x'_{B-} et x_B à l'autre extrémité B de l'intervalle;

3° de l'équation (10) on déduit x'_{B+} à partir de x'_{B-} à la frontière B avec l'intervalle suivant; on possède alors les éléments nécessaires au calcul de l'arc de trajectoire BC.

Pour $\vec{B} = 0$ on retrouve les formules bien connues de la méthode de Gans, classique.

Les limitations du calcul sont identiques [1] :

1° la méthode n'est pas applicable dans la zone où les ions sont engendrés — $V(z_0) = 0$ — ce qui oblige à calculer le début des trajectoires par un autre procédé;

2° le nombre des intervalles doit être augmenté dans les régions où le champ électrique varie rapidement et dans celles où la particule ne possède pas une grande énergie cinétique.

Nous exposerons prochainement une application de cette méthode au calcul des trajectoires ioniques dans une source d'ions de type Nier avec induction magnétique de source.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) R. VAUTHIER, *Thèse*, Paris, 1954.

(2) ZWORYKIN, MORTON, RAMBERG, HILLIER et VANCE, *Electron Optics and the Electron Microscope*, Wiley and Sons, Inc., 1945, p. 412.

(*Laboratoire de Spectrographie de Masse, Faculté des Sciences de Poitiers.*)

PHYSIQUE ÉLECTRONIQUE. — *Influence de la charge de surface sur l'émission photoélectrique des isolants dans la caméra électronique.* Note (*) de M. **Pierre Hartmann**, présentée par M. André Danjon.

Dans l'étude de l'émission photoélectrique des isolants à l'aide de la caméra électronique Lallemand, on observe une déformation et une atténuation de l'image électronique, dues aux charges positives laissées par les photoélectrons sur la surface émettrice. On présente ces phénomènes et on les interprète.

D'une manière générale, lorsqu'un électron quitte la surface d'un isolant il apparaît sur celle-ci une charge positive égale et opposée à la charge de l'électron. Dans le cas particulier de l'étude de l'émission photoélectrique des isolants à l'aide de la caméra électronique [1], les charges positives dues à l'extraction des photoélectrons perturbent la répartition des surfaces équipotentielles de l'optique électronique au voisinage de la photocathode. Cela se traduit sur la plaque nucléaire par :

a. une déformation de l'image électronique qui s'accentue au cours de l'émission;

b. une atténuation puis une disparition de l'émission.

L'étude de ces phénomènes a été conduite de la façon suivante. Le spectre d'un brûleur à vapeur de mercure fourni par un spectroscope est projeté sur une photocathode de silice fondue. La surface photoémissive étant initialement neutre, on obtient sur la plaque nucléaire, après une illumination de 1 mn, une image électronique sensiblement identique à l'objet, le grandissement de l'optique étant égal à l'unité (cliché n° 1). L'illumination précédente étant poursuivie continuellement on obtient, avec la même durée d'exposition soit 1 mn, mais après des temps variables, les clichés n° 2 (après 3 mn), n° 3 (après 5 mn) et n° 4 (après 15 mn). L'examen du cliché n° 2 montre déjà une concentration des raies 2 483 et 2 653 Å sur le fond continu entourant la raie 2 536 Å, et un affaiblissement de l'émission, visible surtout sur le cliché original. Sur les clichés suivants ce sont les autres raies qui subissent la concentration et l'atténuation. Après une illumination de 1 h environ l'émission a pratiquement cessé.

Pour interpréter qualitativement ces résultats expérimentaux on peut envisager trois schémas.

1° La répartition des charges positives le long des raies est uniforme. Alors les graphiques montrent qu'avec une telle hypothèse aucun électron n'est éjecté par suite de l'existence d'une barrière de potentiel de hauteur théoriquement infinie. L'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi.

2° Le cas simple d'une seule charge positive élémentaire perturbant un champ uniforme (champ existant approximativement au voisinage de la photocathode). La construction graphique des équipotentielles étant réalisée en négligeant la polarisation diélectrique de la silice et les trajec-

toires électroniques étant obtenues à l'aide de la méthode du rayon de courbure on constate :

A. dans le cas d'un photoélectron émergeant avec une vitesse nulle (cas des photoélectrons émis au voisinage du seuil situé vers 3126 Å) que :

a. s'il est situé à une distance d de la charge positive supérieure à 0,2750 μ, il échappe à l'attraction de celle-ci et il est accéléré et focalisé par l'optique

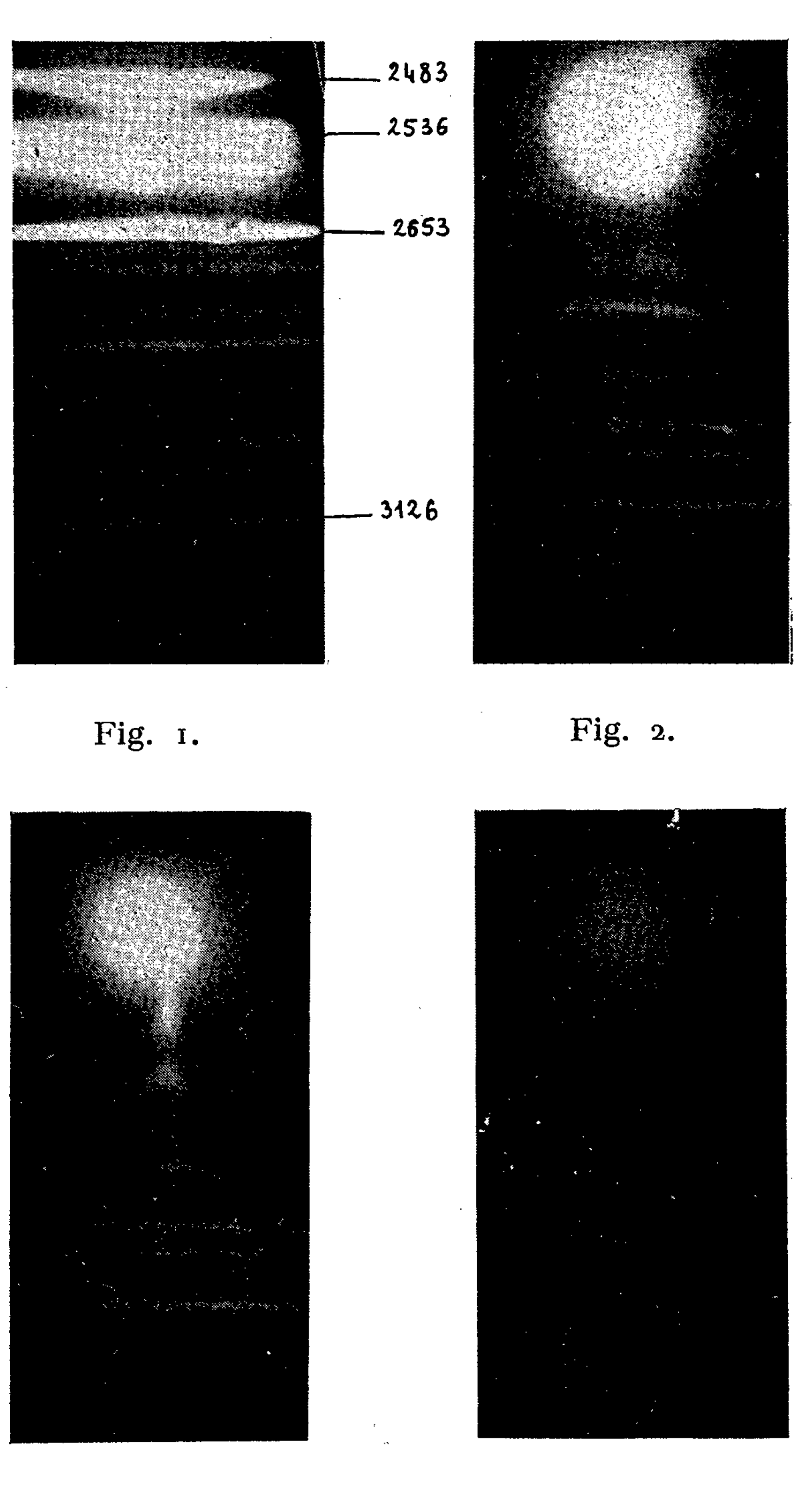


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 3. Fig. 4.

en donnant un point d'impact sur la plaque nucléaire correspondant à un point-objet situé à une distance d' inférieure à d;

b. s'il est situé à une distance d inférieure à 0,2750 μ il retombe sur la surface émettrice.

B. dans le cas d'un photoélectron émergeant avec une énergie différente de zéro et avec une vitesse initiale normale à la surface que la distance

de capture diminue lorsque l'énergie augmente, comme on le constate dans le tableau ci-dessous :

Énergie initiale du photoélectron (eV).	Distance limite de capture (μ).
0	0,2750
0,005	0,1400
0,01	0,1200
0,1	0,0144
1	0,0014

3° Le cas précédent peut se généraliser en première approximation en considérant la charge totale du spectre comme concentrée au voisinage du centre de la raie de résonance. Ceci se justifie car c'est dans cette région que l'énergie du brûleur est presque entièrement concentrée. On est alors ramené au cas précédent avec une charge positive croissant au fur et à mesure de l'émission. La distance de capture augmente proportionnellement à la charge et rend compte ainsi de la déformation observée dans les clichés précédents (concentration) et de l'atténuation de l'émission photoélectrique du fait des électrons capturés.

Lorsque la charge devient très importante (après une illumination de 1 h environ) la distance de capture est telle que la quasi-totalité des photoélectrons retombent sur la surface émettrice. Il y a bien émission photoélectrique mais elle est, de ce fait, indétectable sur la plaque nucléaire.

Les perturbations décrites ci-dessus devront être compensées dans l'étude d'une émission électronique prolongée à l'aide de la caméra électronique. Cependant elles peuvent être mises à profit pour étudier l'évolution des charges à la surface d'un isolant.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) VERNIER-HARTMANN, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1019.

(*Faculté des Sciences, Dijon.*)

OPTIQUE CORPUSCULAIRE. — *Correction de l'aberration d'ouverture de lentilles quadrupolaires électrostatiques en fonctionnement astigmatique.* Note de

MM. **Albert Septier** et **Jean Van Acker**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous proposons trois méthodes pour corriger la forme des lignes focales déformées par l'aberration d'ouverture : soit en introduisant un certain taux de dissymétrie dans les tensions d'excitation, soit en modifiant légèrement la forme des électrodes, soit enfin en ajoutant une lentille octopolaire au système.

1. *Correction par dissymétrie d'excitation.* — Les mesures du taux d'aberration effectuées sur des lentilles quadrupolaires électrostatiques, employées seules ou en doublet [1], ont montré l'influence d'une dissymétrie introduite dans l'alimentation en tension de deux paires d'électrodes de chaque lentille : l'aberration change de sens lorsqu'on inverse le signe de la tension $2\,\Phi$ appliquée à l'une des paires P_1, l'autre paire P_2 étant reliée à la masse ($\Phi = 0$). En appliquant $+\,\Phi_1$ à P_1 et $-\,\Phi_2$ à P_2, il est possible, pour une valeur convenablement choisie du rapport $k = \Phi_2/\Phi_1$, d'obtenir un système corrigé de l'aberration d'ouverture. La figure 1 montre les courbes donnant le taux d'aberration transversale τ, défini par $\tau = \delta/R_0$ (R_0 étant le rayon du faisceau incident parallèle à l'axe, et $2\,\delta$ l'épaisseur de la ligne focale perturbée obtenue au foyer image), pour une lentille seule. La valeur $k = 0$ correspond à l'excitation dissymétrique positive (D. P.) et $k = 1$, à l'excitation symétrique (S); pour $k = 0{,}5$ l'aberration est pratiquement nulle, dans les limites de résolution de notre système de mesures. On obtient un résultat identique avec un doublet. La valeur de k conduisant à la correction varie avec la convergence.

2. *Correction par modification des pôles.* — Dans un travail antérieur, l'un de nous a pu corriger des lentilles magnétiques en retouchant la forme des pôles [2] : une diminution progressive des entrefers latéraux situés entre pôles adjacents permet en effet d'inverser le sens de l'aberration. On obtient un effet semblable avec les lentilles électrostatiques, dans tous les cas d'excitation. La figure 2 donne les valeurs de τ obtenues avec une lentille seule pour différentes valeurs de R_0, et pour les différentes formes de pôles représentées sur la figure 3, dans le cas d'une excitation symétrique. On notera que le pôle à facettes planes, inscrites dans l'hyperbole théorique, donne une aberration légèrement inférieure à celle qui correspond au pôle circulaire. Le taux d'aberration varie lentement lorsqu'on modifie la forme des régions du pôle éloignées de la zone utile; par contre, de légères retouches au voisinage du plan de symétrie ont une très grande influence.

Ici encore, l'aberration change de sens lorsqu'on passe des électrodes circulaires aux électrodes planes, et il existe une forme proche du profil OHGE pour laquelle l'aberration est pratiquement nulle. Le même

phénomène se produit en excitation dissymétrique négative (D. N.) pour une forme très voisine. Par contre, les modifications représentées sur la figure 3 laissent inchangé le signe de l'aberration en excitation dissymétrique positive (D. P.) : il faut dans ce cas réaliser des pôles très étroits pour annuler l'aberration du troisième ordre, mais on crée alors de nouvelles aberrations dues aux trop fortes distorsions du champ électrique.

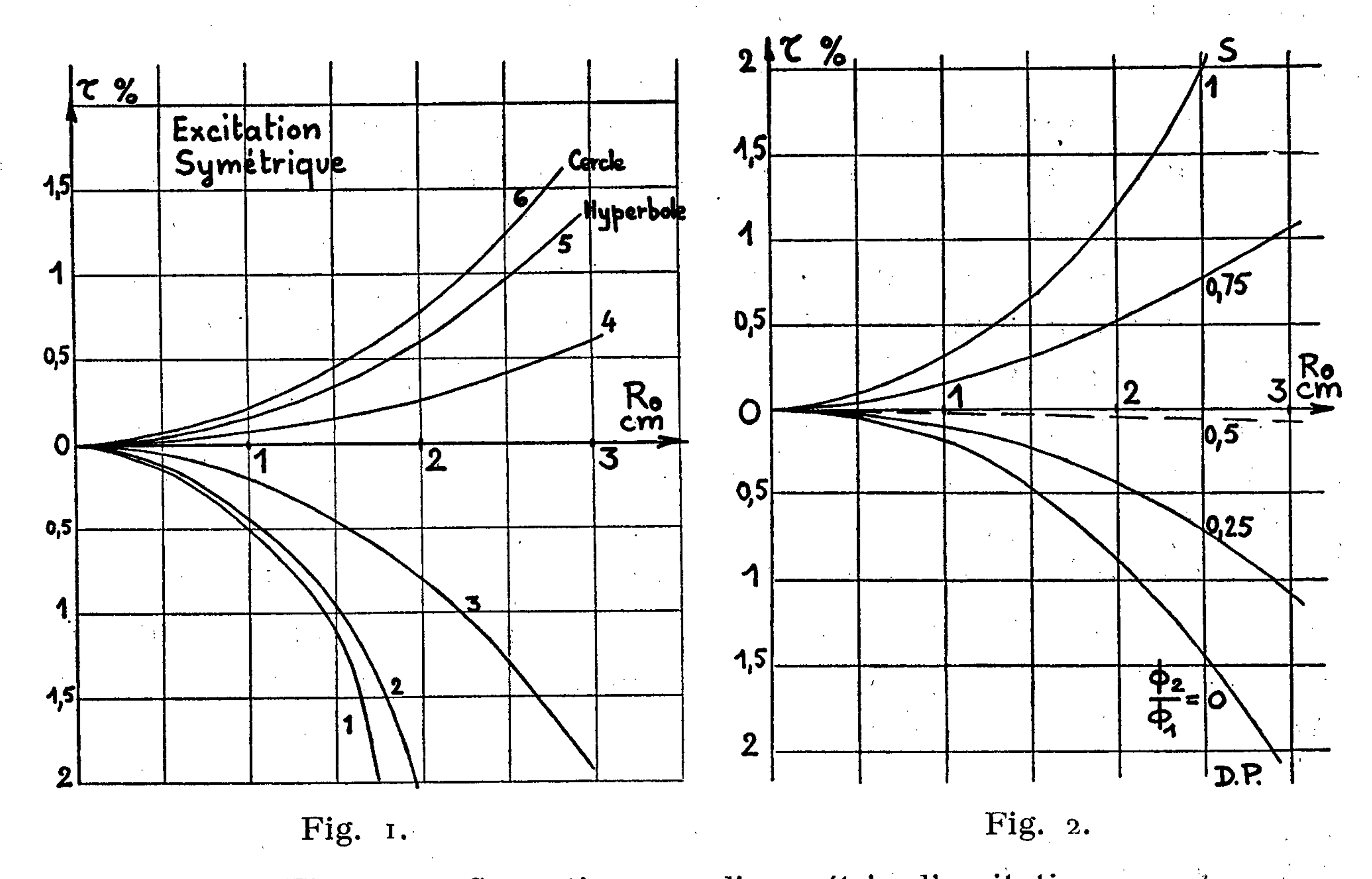


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Correction par dissymétrie d'excitation.

Fig. 2. — Correction par modification de la forme des pôles. Une seule lentille, $f \sim 40$ cm (voir *fig.* 3).

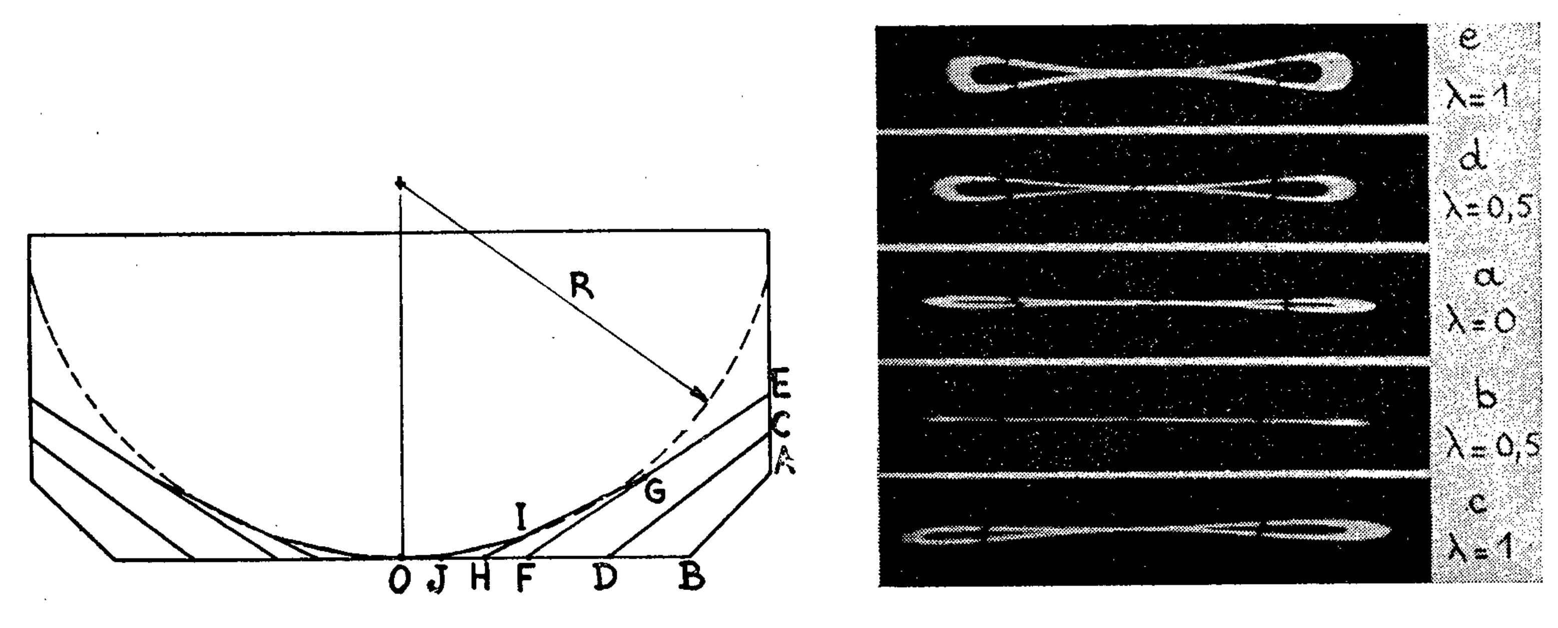


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. — Différentes formes d'électrodes.
Électrodes nº 1 : AB; nº 2 : CD; nº 3 : EF; nº 4 : EGH; nº 5 : EGIJO (Hyperbole); nº 6 : cercle R = 1,15 *a*.

Fig. 4. — Correction par octopole (*a*), octopole non excité; (*b*) et (*c*), octopole convergent en OX et OY; (*d*) et (*e*) : octopole convergent en O*x* et O*y*. Doublet, $f \sim 16$ cm.

3. *Correction par lentille octopolaire.* — Nos mesures magnétiques ont montré (²) que la modification des pôles se traduit par un effet à symétrie octopolaire : renforcement de la convergence dans les plans de symétrie radiaux OX, OY, ne coupant pas les pôles, diminution équivalente dans les plans de symétrie Ox, Oy, coupant les pôles. D'autre part, l'aberration d'ouverture δ dans le cas de lentilles quadrupolaires idéales est proportionnelle à la troisième puissance de R_0 : on peut espérer la réduire et même l'annuler avec une lentille octopolaire.

La figure 4 montre l'effet d'une telle lentille sur la focale (*fig.* 4 *a*) fournie par un doublet quadrupolaire, en excitation D. N., pôles à 0 et -2Φ. Quatre des pôles de l'octopole, situés dans les plans OX et OY du doublet, sont reliés à une tension négative -2φ et les quatre autres à la masse. Si l'on nomme λ le rapport φ/Φ, on voit que dans ces conditions de convergence ($f \simeq 16$ cm), il y a correction pour $\lambda = 0{,}5$ (*fig.* 4 *b*). Pour $\lambda > 0{,}5$, l'aberration change de sens et croît avec λ (*fig.* 4 *c*). Par contre, si les quatre pôles excités sont dans les plans Ox et Oy, l'aberration est renforcée considérablement (*fig.* 4 *d*, *e*).

La lentille utilisée a les caractéristiques suivantes : rayon du cercle de gorge $b = 5$ cm, électrodes cylindriques à section circulaire de rayon $R = 2$ cm, longueur 10 cm; elle était placée à 20 cm du centre de la deuxième lentille du doublet.

(¹) A. Septier et J. van Acker, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 346.
(²) A. Septier, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2036.

PHYSIQUE DES PLASMAS. — *Influence d'une préionisation sur l'efficacité d'une compression magnétique. Résultats expérimentaux obtenus.* Note (*) de MM. **Terenzio Consoli**, **Richard Geller** et **René Legardeur**, présentée par M. Francis Perrin.

Le dispositif décrit ci-dessous permet — avant une compression rapide — de préioniser le gaz neutre et de préchauffer par la résonance cyclotronique des ions le plasma ainsi créé. On expose les premiers résultats permettant de constater l'influence de ces opérations préliminaires.

L'expérience CIRCE (Compression après une Ionisation Reflex par Champ Électromagnétique) est un dispositif expérimental de compression adiabatique.

Le milieu ionisé qu'on comprime au moyen d'un champ magnétique axial est une décharge reflex pulsée dont on peut faire varier la densité et la température, grâce à un chauffage ionique.

Les intensités des champs magnétiques initial et de compression, ainsi que les rapports miroirs correspondants, sont variables dans une large gamme de valeurs. On peut également inverser le sens de chaque champ.

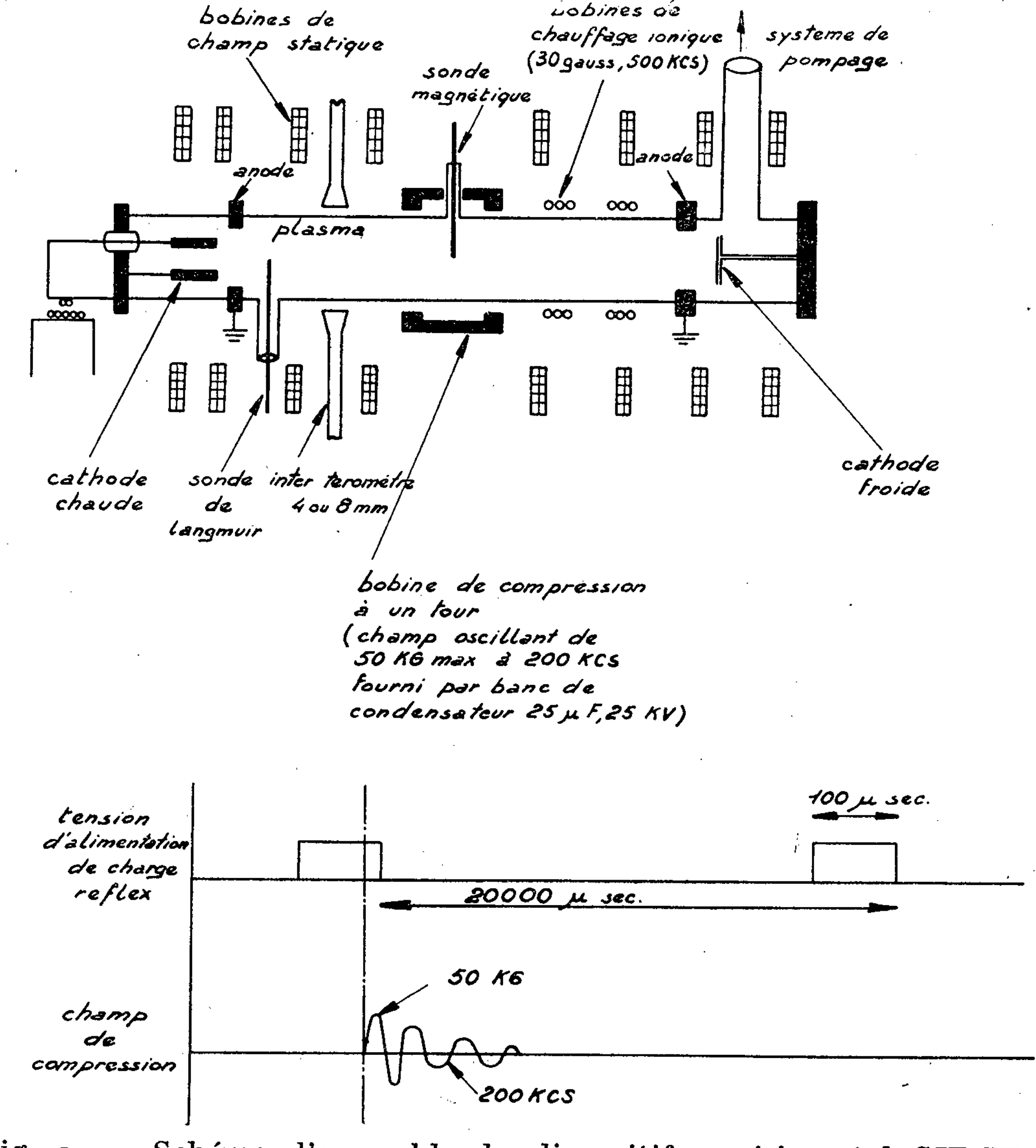


Fig. 1. — Schéma d'ensemble du dispositif expérimental CIRCE.

Ce dispositif permet de réaliser les conditions suivantes nécessaires à une compression efficace :

a. Température électronique initiale élevée, pour se rapprocher du cas d'une conductivité infinie.

b. Pression de gaz neutre faible, à l'extérieur de la décharge pour réduire les pertes par échanges de charge avec ionisation initiale dans la décharge de l'ordre de 50 %.

c. Densité initiale de charge élevée pour avoir une thermalisation rapide après compression.

Le dispositif expérimental (*fig.* 1). — Ses caractéristiques principales sont résumées dans le tableau ci-après.

La décharge reflex initiale.

Dimension du tube de quartz, $L = 1\,000$ mm, Φ 60 mm, formé de trois sections : cathodiques de chauffage, de compression et de pompage.

Pression de gaz $< 10^{-3}$ mm Hg (Deuterium).

Durée de l'impulsion, 100 μs.

Champ statique de la décharge, $0 < B < 2\,000$ gauss assuré par bobines refroidies à l'eau, à configuration réglable.

Densité électronique, $10^{12} < n_e < 10^{14}$ e/cm³.

Température électronique réglable par chauffage cyclotron des ions 500 kc/s $< F_{H.F.} <$ 1 000 kc/s.

Le dispositif de compression.

Batterie de 10 condensateurs 2,5 μF, 25 kV.

Bobine de compression, $L = 10$ cm, diamètre et rapport miroir réglable par jeux de pièces amovibles.

Self-inductance de la bobine et des connections, 60 mμH.

Champ de compression 20 kg $\leq B_c \leq$ 50 kg.

Fréquence d'oscillation, 200 kc/s.

Les méthodes de test.

Sonde de Langmuir.

Sonde magnétique.

Interféromètres 8 et 4 mm.

Détecteurs de rayonnement.

Détecteurs à activation et scintillateur plus photomultiplicateurs protégés par écran de plomb de 5 mm.

Paramètres mesurés.

n_e, T_e initial.

Champ de compression.

n_e avant et fuites pendant la compression.

Rayons X.

Flux de neutrons.

Quelques résultats obtenus. — Ces résultats sont représentés sur les enregistrements et les diagrammes déduits des mesures qui figurent ci-dessous.

1° Les enregistrements 1 *a*, 1 *b*, 1 *c* (*fig.* 2) donnent simultanément la tension de la décharge reflex, tension du chauffage cyclotron et de la densité électronique (interféromètre, 8 mm).

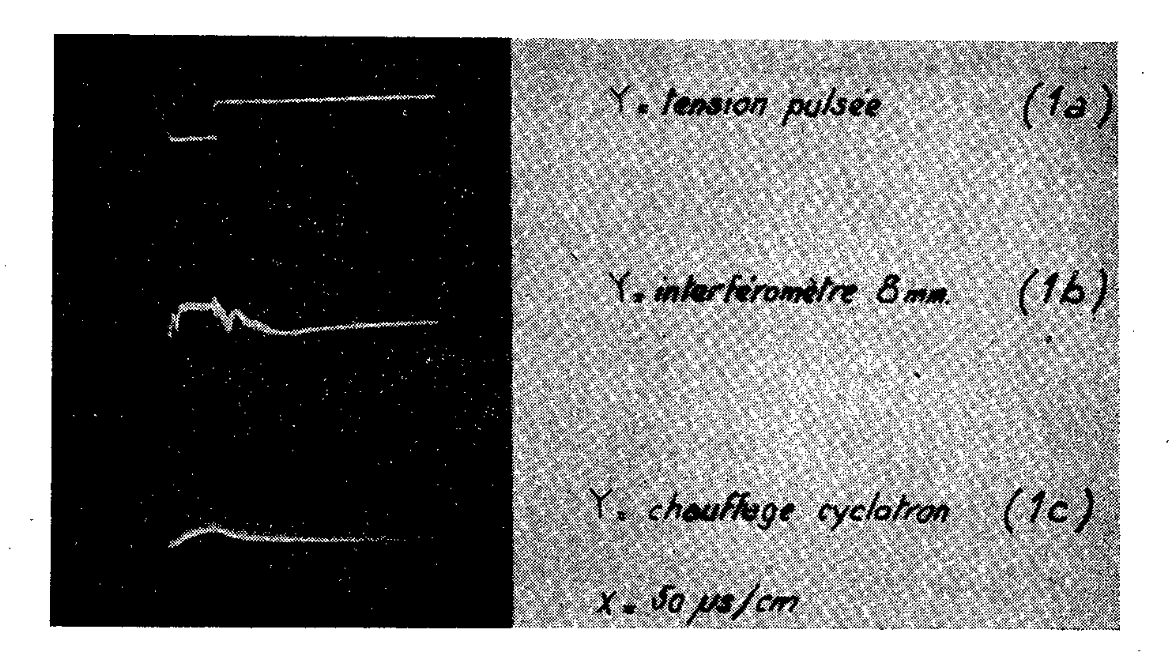


Fig. 2.

2° Les courbes déduites 2 *a*, 2 *b*, 2 *c* (*fig.* 3) traduisent respectivement l'influence du taux d'impuretés du champ de compression et de la pression des neutres sur le flux mesuré de neutrons.

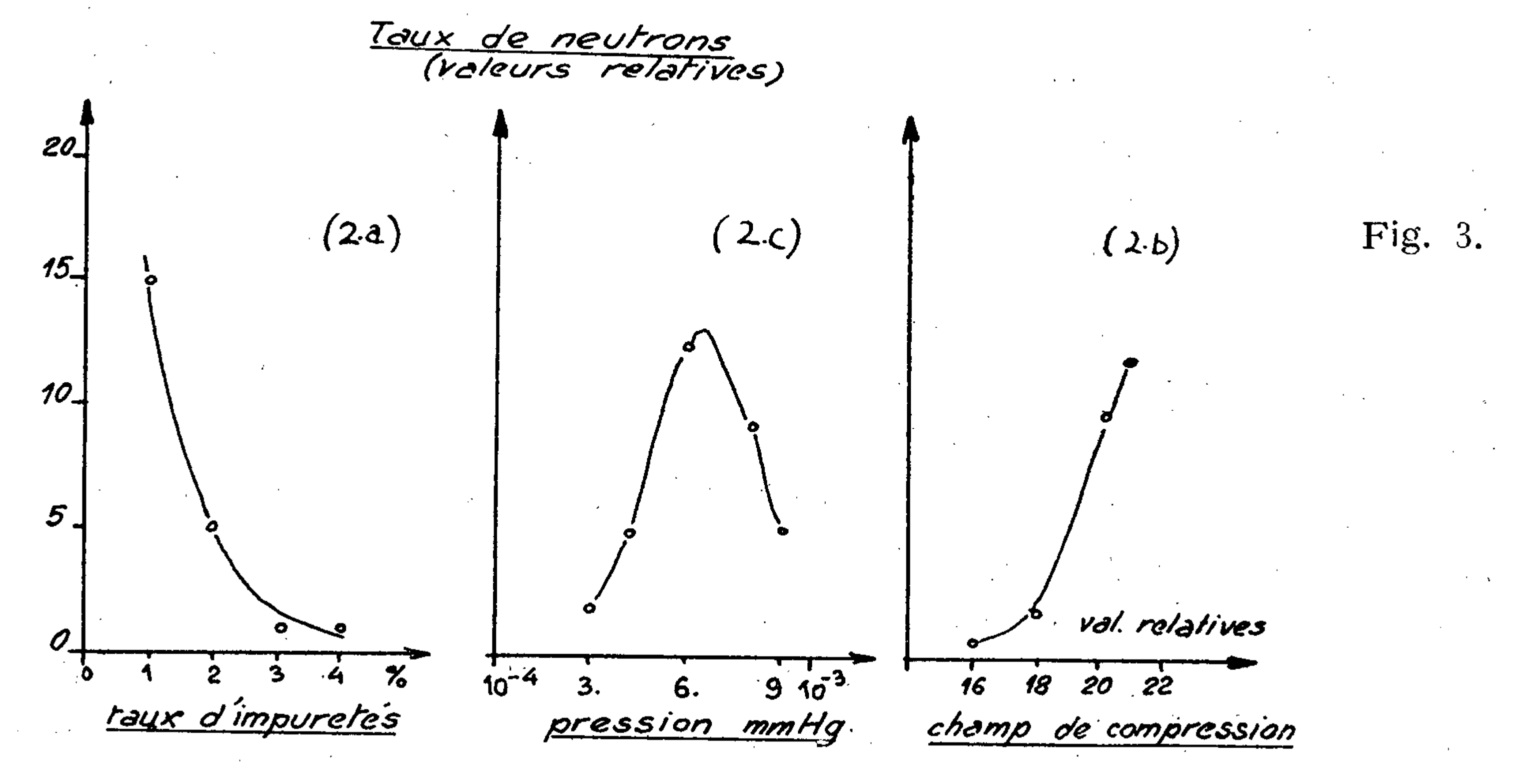


Fig. 3.

3° Les enregistrements 3 *a*, 3 *b* (*fig.* 4) donnent directement le flux de neutrons. Ce flux a une valeur qui varie entre 10^5 à 10^6 neutrons/coup.

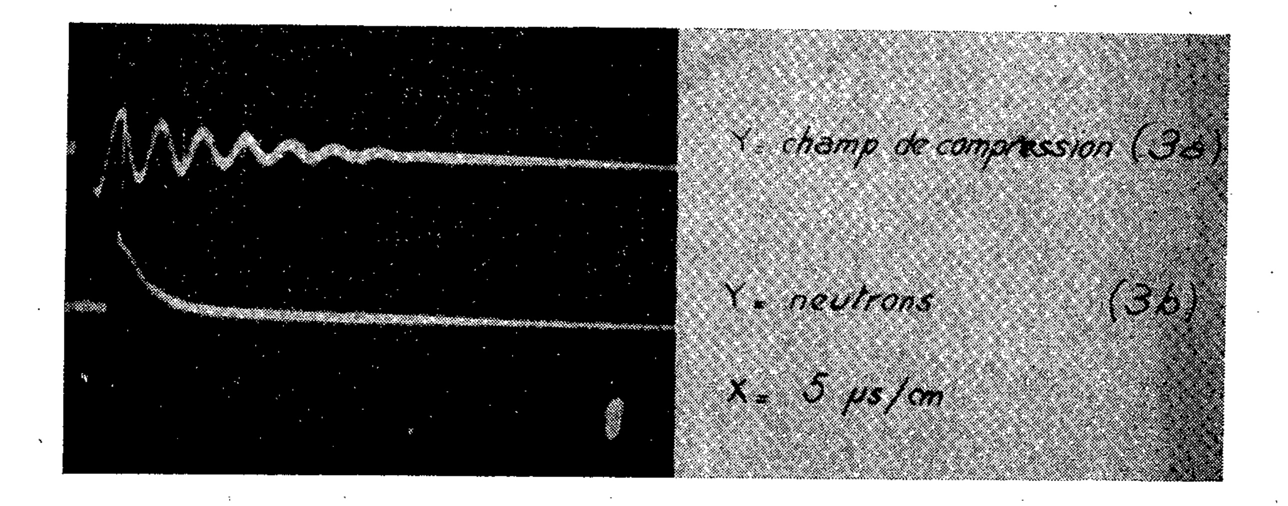


Fig. 4.

Conclusion. — L'efficacité de la préionisation et du chauffage résulte avec évidence des enregistrements précédents : aux pressions inférieures à 10^{-3} mm, la compression est sans aucun effet en l'absence de la décharge.

(*) Séance du 19 septembre 1960.

(*Service de Physique appliquée, Section de Ionique générale.*)

RADIOÉLECTRICITÉ. — *Définition et mesure du champ moyen des atmosphériques de caractère impulsif.* Note (*) de M. **Fernand Carbenay**, présentée par M. Louis de Broglie.

L'effet moyen sur un récepteur à amplification (par circuits accordés) et détection linéaires de N impulsions brèves Φ_0 par seconde est sensiblement équivalent à l'effet d'un champ électromagnétique de composante électrique efficace $F_{eff} = \sqrt{2} N \Phi_0 / h$, h étant la hauteur effective de l'aérien pour la fréquence d'accord du récepteur.

Nous avons observé, au point de vue statistique, que les atmosphériques sur ondes kilo et myriamétriques avaient généralement le caractère d'impulsions brèves [1]; nous avons indiqué un procédé d'étalonnement par impulsions [2] des récepteurs-enregistreurs d'atmosphériques et introduit, pour caractériser l'activité des atmosphériques, un paramètre représentatif du champ moyen [3] $\Sigma\Phi / h\,(t_b - t_a)$, $\Sigma\Phi$ étant la somme des flux d'impulsion agissant, pendant l'intervalle de temps $(t_b - t_a)$ sur l'aérien omnidirectionnel de hauteur effective h pour la fréquence d'accord du récepteur.

Les récepteurs-enregistreurs d'atmosphériques à amplification et détection quasi linéaires, en service dans les Stations françaises pendant l'Année Géophysique Internationale, ont été étalonnés périodiquement suivant le procédé par impulsions.

On applique N fois par seconde, à la base de l'aérien, une force électromotrice $e_0 = \mathcal{E}_0 \exp(t/\tau_0)$ (τ_0 étant très petit devant la période d'accord du récepteur) et l'on fait correspondre au niveau du diagramme, proportionnel à la cadence N et à la grandeur $\Phi_0 = \mathcal{E}_0 \tau_0$ des impulsions, le paramètre $N \Phi_0 / h$.

La détection linéaire de la différence de potentiel u_0 aux bornes du circuit oscillant d'antenne, siège des oscillations libres provoquées par les impulsions, produit un courant d'intensité moyenne [4] :

$$i_d = k N \int_0^{\infty} K \Phi_0 \Omega e^{-\alpha t}\, dt = k K \frac{\Omega}{\alpha} N \Phi_0,$$

K, rapport de la capacité d'antenne à la somme de celle-ci et de la capacité d'accord; Ω et α, pulsation d'accord et degré d'amortissement du circuit.

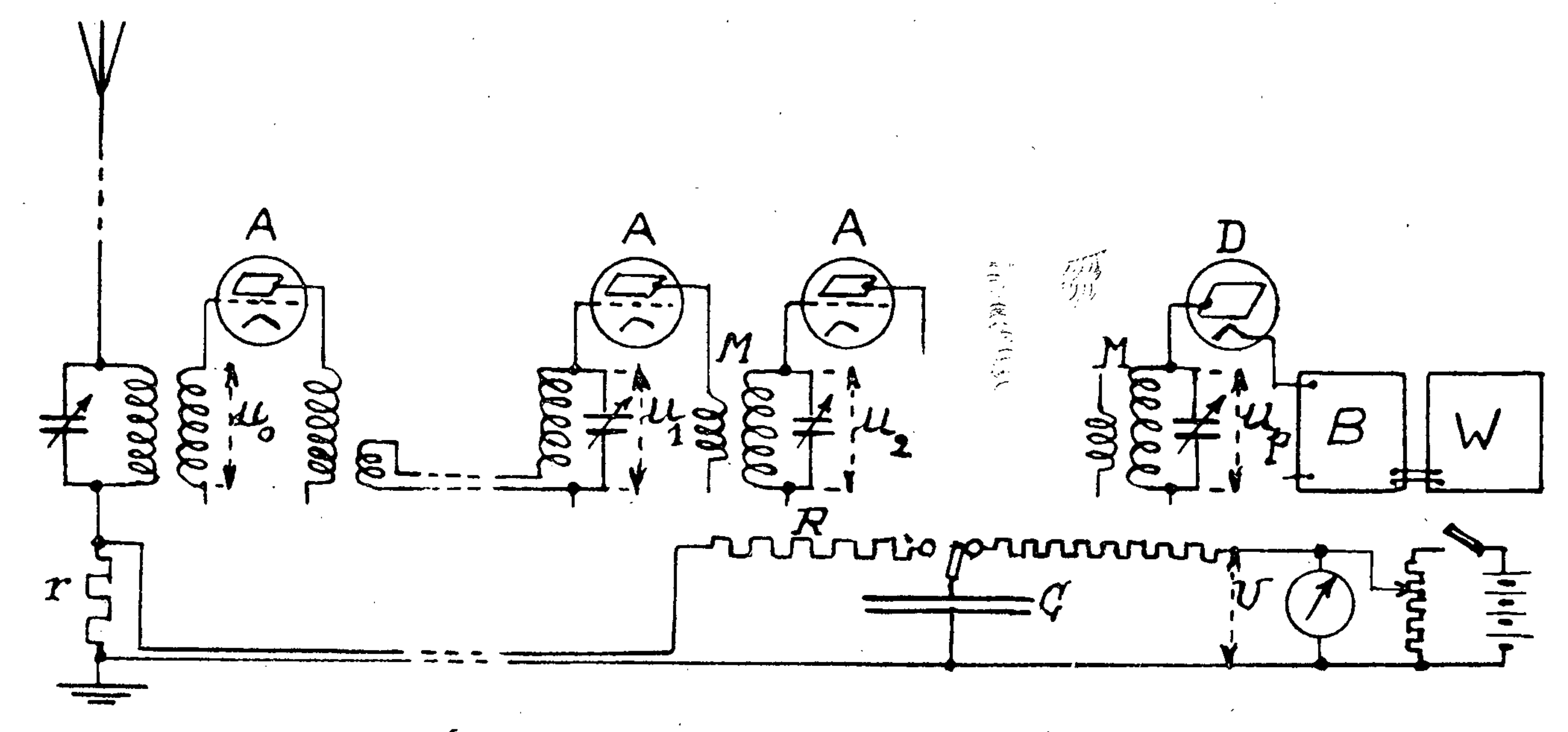
Un courant détecté de même intensité moyenne peut aussi résulter de l'induction dans l'antenne d'une force électromotrice sinusoïdale $E_0 \sin \Omega t$ telle que

$$i_d = k K \frac{\Omega}{2\alpha} E_0.$$

Les deux expressions de i_d donnent la relation $E_0 = 2 N \Phi_0$.

Plus généralement, le récepteur comporte, entre le circuit d'antenne et le détecteur, p étages d'amplification à résonance. Nous admettons que ces étages sont identiques, qu'ils ont même pulsation d'accord, même degré d'amortissement α (α négligeable devant Ω) et que les couplages sont assez faibles pour négliger la réaction d'un circuit sur celui qui le précède ([5]).

La différence de potentiel u_0 aux bornes du circuit d'antenne, appliquée par induction à la grille du tube électronique du 1er étage d'amplification,



Étalonnement, par impulsions brèves, d'un récepteur-enregistreur du champ moyen des atmosphériques.

$$\Phi_0 = \int_0^\infty e_0\, dt = \int_0^\infty ri\, dt = r\text{CU} = \frac{r}{\text{R}+r}\tau_0\text{U}, \qquad \tau_0 = (\text{R}+r)\,\text{C};$$

A, tubes électroniques amplificateurs; B, amplificateur à courant continu; D, tube électronique détecteur; W, enregistreur.

produit aux bornes des circuits oscillants de rang $(n-1)$ et n des différences de potentiel u_{n-1} et u_n dont le rapport est sensiblement

$$\frac{u_n}{u_{n-1}} = \frac{\mu\text{M}}{n\rho}\Omega^2 t$$

(μ, coefficient d'amplification des tubes électroniques de résistance interne ρ) de sorte que la différence de potentiel aux bornes du circuit oscillant du dernier étage, de rang p, précédant la détection, est approximativement :

$$u_p = u_0 \prod_{n=1}^{n=p} \frac{u_n}{u_{n-1}} = \left(\frac{\mu\text{M}}{\rho}\right)^p \frac{\Omega^{2p+1}}{p!}\text{K}\Phi_0 e^{-\alpha t}\sin(\Omega t - \varphi).$$

La détection étant supposée linéaire, l'intensité moyenne du courant détecté est proportionnelle à la surface limitée par l'enveloppe de u_p :

$$i_d = k\text{N}\int_0^\infty \left(\frac{\mu\text{M}}{\rho}\right)^p \frac{\Omega^{2p+1}}{p!}\text{K}\Phi_0 e^{-\alpha t}\, dt = k\text{K}\left(\frac{\mu\text{M}}{\rho}\right)^p \frac{\Omega^{2p+1}}{\alpha^{p+1}}\text{N}\Phi_0.$$

La même intensité moyenne du courant détecté peut résulter de l'effet, sur l'aérien, d'une force électromotrice $E_0 \sin \Omega t$ telle que

$$i_d = k\mathrm{K}\left(\frac{\mu \mathrm{M}}{\rho}\right)^p \frac{\Omega^{2p+1}}{\alpha^{p+1}} \frac{\mathrm{E}_0}{2}.$$

Les deux expressions de i_d donnent comme précédemment ($p = 0$), la relation

$$\mathrm{E}_0 = 2\mathrm{N}\Phi_0.$$

L'effet moyen de N impulsions Φ_0 par seconde, sur le récepteur à amplification et détection linéaires associé à un aérien vertical de hauteur effective h, est sensiblement égal à l'effet d'un champ électromagnétique ayant la fréquence d'accord du récepteur et une composante électrique verticale de grandeur efficace :

$$\mathrm{F}_{\mathrm{eff}} = \frac{\mathrm{E}_{\mathrm{eff}}}{h} = \frac{\mathrm{E}_0}{\sqrt{2}\,h} = \sqrt{2}\,\frac{\mathrm{N}\Phi_0}{h}.$$

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) F. Carbenay, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 949; *Enregistrement des atmosphériques. Paramètres caractéristiques et méthodes d'étalonnement* (Note préliminaire n° 170 du Laboratoire National de Radioélectricité); *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1904.

(2) *Comptes rendus*, 226, 1948, p. 1710.

(3) F. Carbenay, *Sur l'enregistrement du niveau moyen des atmosphériques* (Note préliminaire n° 131 du Laboratoire National de Radioélectricité); *Comptes rendus*, 230, 1950, p. 1648 et 235, 1952, p. 423 et 652.

(4) La constante de temps $1/\alpha$ est très petite devant l'intervalle de temps 1/N séparant deux impulsions successives.

(5) E. Fromy, *Analyse de l'action des parasites sur un récepteur et application à l'étude des parasites atmosphériques* (Note préliminaire n° 146 du Laboratoire National de Radioélectricité).

POLARIMÉTRIE. — *Variation de la dispersion rotatoire de quelques acides aminés en fonction du* pH. Note de M. **Michel Billardon**, présentée par M. Jean Lecomte.

Le tracé des courbes de dispersion rotatoire en fonction du pH, permet d'étudier les différents ions auxquels un acide aminé peut donner naissance. Il est donc possible de comparer ces ions entre eux, et d'étudier l'influence de certains substituants en α du carbone asymétrique. L'intervalle spectral examiné s'étend de 2 500 à 5 500 Å; le domaine de pH allant de 0 à 12.

Suivant le pH, un acide aminé peut exister sous trois formes

$R—CH(CO_2H)(NH_3)^+$, $R—CH(CO_2)^-(NH_3)^+$, $R—CH(CO_2)^-(NH_2)$.

Le tracé des courbes de dispersion rotatoire pour plusieurs valeurs de pH permet donc de comparer ces différentes formes.

Les résultats indiqués ici sont relatifs aux acides aminés, dont la dispersion rotatoire en milieu acide a fait l'objet d'une Communication précédente [1]. Pour ces acides aminés, la variation de [M] en fonction du nombre de molécules de soude ou d'acide chlorhydrique mis en solution, a déjà été étudiée, mais pour la raie D du sodium [2].

Pour faire varier le pH des solutions aqueuses d'acides aminés, j'ai utilisé HCl et NaOH et parfois des solutions tampons (pH 4 à 10).

1. Pour l'alanine $CH_3—CH(CO_2H)(NH_2)$, le tracé des courbes $[M] = f(pH)$, pour plusieurs longueurs d'onde entre 2 500 et 5 000 Å, fait apparaître trois paliers correspondant aux domaines d'existence des trois ions définis ci-dessus. Le maximum de la courbe de dispersion semble se déplacer de 10 ou 20 Å lorsqu'on est en milieu alcalin.

2. Phénylalanine $C_6H_5—CH_2—CH(CO_2H)(NH_2)$: Les courbes $[M] = f(pH)$ permettent également de mettre en évidence l'existence de trois paliers, le pK le plus acide [correspondant à la formation de $C_6H_5—CH_2—CH(CO_2H)(NH_3)^+$] ne semble pas avoir été déterminé. D'après ces courbes, il est égal à $2 \pm 0,05$. Les courbes de dispersion présentent toutes un effet Cotton positif vers 2 700 Å, et la forme des courbes en région de transparence conduit à admettre l'existence d'au moins deux effets Cotton de signes contraires, l'importance relative de ces deux effets Cotton variant avec le pH.

3. Tyrosine, $OH—C_6H_4—CH_2—CH(CO_2H)(NH_2)$: Ce corps possède trois fonctions ionisables, il y a donc trois valeurs de pK. Les courbes $[M] = f(pH)$ présentent trois paliers très nets et, vers pH 10, il y a un palier ou un point d'inflexion, selon la longueur d'onde pour laquelle on a tracé la courbe. Ceci est dû au fait que entre pH 9 et 11 les trois formes

$OH—C_6H_4—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_3)^+$, $OH—C_6H_4—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_2)$,

$^-O—C_6H_4—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_2)$

existent simultanément (pK 9,19 et 10,43). En ce qui concerne les courbes de dispersion $[M] = f(\lambda)$, pour pH < 7 il existe un effet Cotton positif vers 2 880 Å, lorsque pH < 8 cet effet a lieu vers 3100 Å. En région de transparence, le changement d'allure de la courbe, en fonction du pH, est identique à celui de la phénylalanine.

4. Acide aspartique, $CO_2H—CH_2—CH(CO_2H)(NH_2)$: Ce corps possède trois fonctions ionisables (pK : 1,94, 3,70 et 9,60), d'où quatre ions

$CO_2H—CH_2—CH(CO_2H)(NH_3)^+$, (I) $CO_2H—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_3)^+$, (II)

$^-CO_2—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_3)^+$, (III) $^-CO_2—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_2)$. (IV)

Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Courbes de dispersion rotatoire.

Acide aspartique, 1 *a* : milieu aqueux; 1 *b* : pH 4,5 en présence de Na^+. Alanine, 2 *a* : milieu aqueux; 2 *b* : pH 12. Phénylalanine, 3 *a* : milieu aqueux; 3 *b* : pH 12. Tyrosine, 4 *a* : pH 4,7 en présence de Na^+; 4 *b* : pH 11,5.

Fig. 2. — Pouvoir rotatoire moléculaire en fonction du pH.

I. Acide aspartique ($\lambda = 3\,000$ Å); II. Alanine ($\lambda = 2\,700$ Å); III. Phénylalanine ($\lambda = 3\,000$ Å); IV. Tyrosine ($\lambda = 3\,200$ Å).

On trouve trois paliers pour la courbe $[M] = f(\text{pH})$ [3]. Les deux pK acides étant très voisins, la forme de la courbe pour pH $\simeq 4$ indique que la courbe de dispersion de l'ion $CO_2H—CH_2—CH(CO_2)^-(NH_3)^+$ est peu différente de celle des ions (I) et (III). Quel que soit le pH on retrouve un maximum de rotation entre 2 350 et 2 400 Å.

5. Au cours de ces mesures, pour faire varier le pH des solutions aqueuses, j'ai dû introduire dans les solutions des ions positifs (Na^+) et des ions négatifs (Cl^-, $CH_3CO_2^-$). Or le pouvoir rotatoire des acides aminés est influencé par la présence de sels neutres. Cet effet est net, mais malgré tout assez faible, dans le cas de l'alanine, de la tyrosine et de la phénylalanine. Il est, par contre, beaucoup plus marqué pour l'acide

aspartique, qui possède une fonction CO_2H en bout de chaîne. Tout d'abord le pouvoir rotatoire, en milieu de pH o, c'est-à-dire pour la molécule $CO_2H—CH_2—CH (CO_2H) (NH_3)^+$, ne semble pas modifié par la présence de sels neutres, comme dans le cas de l'asparagine ([4]). Par contre, en milieu de pH 6,5 ou $^-CO_2—CH_2—CH (CO_2)^- (NH_3)^+$ existe seul, la présence d'ions étrangers se traduit par une grande diminution du pouvoir rotatoire. D'autre part, alors qu'en l'absence d'ions Na^+ la rotation est toujours positive dans toute l'étendue spectrale examinée, en présence de ces ions la rotation est négative pour $\lambda > 2\,600$ Å. Il faut donc supposer l'existence de deux effets Cotton de signes contraires, affectés différemment par la présence de Na^+.

6. L'étude de la dispersion rotatoire en fonction du pH permet donc de comparer les différents ions entre eux. Dans tous les cas, il y a une grande augmentation de [M] en milieu acide. On retrouve aussi ce résultat dans le cas d'autres acides aminés ([2]) et il est dû à la fixation de H^+ sur le groupe CO_2^-; c'est un cas particulier de la loi de substitution de Kuhn et Freudenberg. En milieu alcalin, il y a augmentation de [M], par rapport au milieu neutre, ce qui correspond à la perte de H^+ par NH_3^+.

L'influence des sels neutres dans le cas de l'acide aspartique, conduit à admettre l'existence de deux effets Cotton de signes contraires. L'influence du pH, dans le cas de la phénylalanine et de la tyrosine, conduit à la même conclusion. Il est d'ailleurs possible que ce soit le cas général pour tous les acides aminés, le pH et la présence de sels neutres agissant différemment sur les centres actifs.

La phénylalanine et la tyrosine possèdent toutes les deux un effet Cotton positif au-dessous de 3100 Å, dû très certainement à la présence d'un cycle ⬡. Mais la présence d'une fonction OH en para déplace le centre de la bande active de 150 Å environ, en milieu neutre et acide, et de 350 Å en milieu alcalin. Ce déplacement en milieu alcalin coïncide d'ailleurs avec une grande augmentation de l'absorption, et un déplacement de la bande vers les grandes longueurs d'onde ([5]). Puisque dans le cas de la phénylalanine il n'y a aucun déplacement, lorsqu'on passe de ⬡$—CH_2—CH (CO_2)^- (NH_3)^+$ à ⬡$—CH_2—CH (CO_2)^- (NH_2)$, on peut attribuer ce déplacement à l'ionisation de la fonction OH.

([1]) M. Billardon, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 535.
([2]) O. Lutz et B. Jirgensons, *Ber.*, 63, 1930, p. 448; *ibid.*, 64, 1931, p. 1221.
([3]) Vellinger, *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 718.
([4]) J. Liquier, *Ann. Phys.*, 8, 1927, p. 121.
([5]) G. Florence Bessières, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 27, 1945, p. 293.

(*École Supérieure de Physique et Chimie, Paris, 5e.*)

SPECTROSCOPIE. — *Dispositif d'analyse spectrale à haute résolution dans l'ultraviolet. Application à la mesure des intervalles hyperfins du niveau* $6\,^3P_1$ *de* ^{199}Hg *et* ^{201}Hg. Note (*) de M. **Robert Lennuier** et Mlle **Denise Lagarde**, présentée par M. Jean Lecomte.

Le montage décrit permet de résoudre un intervalle spectral de 5 mK dans un intervalle libre de 1000 mK autour de la longueur d'onde 2 537 Å.

L'ensemble réalisé au Laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne est destiné à l'analyse de la forme des raies spectrales obtenues en émission ou en absorption dans le proche ultraviolet. Au dispositif d'analyse proprement dit, que nous décrivons seul ici, est adjoint un intégrateur optique qui permet, à partir de la donnée de la « fonction d'appareil » du premier dispositif, d'utiliser plus complètement les informations fournies par celui-ci.

1. Le montage d'analyse spectrale est constitué par plusieurs interféromètres Fabry-Pérot associés selon la méthode mise au point par P. Jacquinot et ses élèves; l'interféromètre le plus épais fixe la largeur du plus petit intervalle spectral résolu, le ou les interféromètres associés au premier ayant pour fonction d'augmenter l'intervalle spectral libre. Notre montage associe trois interféromètres désignés dans la suite par E_1, E_2, E_3, ayant des épaisseurs respectives voisines de 0,5, 2 et 10 cm.

Toute l'optique est en quartz ou en silice « Ultrasil »; les miroirs des interféromètres sont recouverts d'une couche d'aluminium présentant en moyenne, sur la raie λ 2 537 Å, un facteur de réflexion de 0,83 et un facteur de transmission de 0,07 soit, pour chaque interféromètre, un facteur de contraste un peu supérieur à 100, un coefficient de transparence de 0,2 et une finesse réflectrice de 17. L'interféromètre E_3 a un diamètre utile de 6 cm; le diamètre utile des autres est tel que l'étendue géométrique du faisceau soit conservée à travers tout l'ensemble. Chaque interféromètre est placé à l'intérieur d'une enceinte étanche dans laquelle l'air sec est admis à une pression variable, liée linéairement à l'enregistrement du signal fourni par une cellule RCA 1 P 28. La différence de pression entre les enceintes reste constante.

Les trois interféromètres peuvent être associés deux à deux ou ensemble; selon l'association réalisée, on obtient un intervalle libre $\Delta\sigma$ et un intervalle minimal résolu effectif $\delta\sigma$ donnés par le tableau suivant (en mK ou 10^{-3} cm^{-1}).

Association	E_1+E_2.	E_2+E_3.	$E_1+E_2+E_3$.
$\Delta\sigma$	966	241,5	966
$\delta\sigma$	25	5	5

2. L'appareil a été mis au point et éprouvé en enregistrant :

— avec $(E_1 + E_2)$ la structure hyperfine de la raie λ 2 537 Å $(6\,^3P_1 - 6\,^1S_0)$ du mercure naturel et de ^{199}Hg et ^{204}Hg;

— avec $(E_2 + E_3)$ la composante fournie par ^{198}Hg.

Nous reproduisons ici deux enregistrements obtenus par $(E_1 + E_2)$. Les sources ^{199}Hg et ^{201}Hg, excitées en haute fréquence, ont été fabriquées

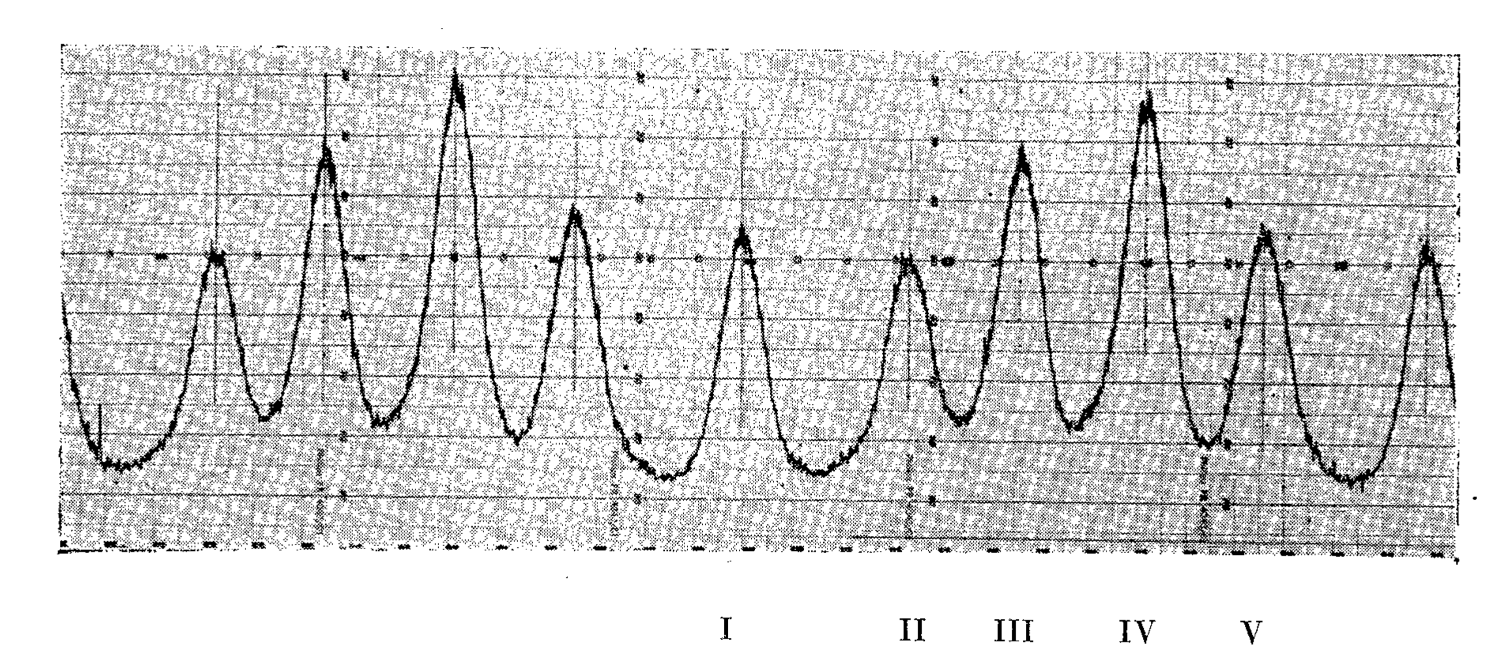


Fig. 1. — Structure de la raie λ 2 537 Å du mercure naturel (spectromètre $E_1 + E_2$) L'origine des composantes est : I (B_{199}, c_{201}); II (X_{198}, b_{201}); III (X_{200}); IV (X_{202}); V (X_{204}, A_{199}, a_{201}). La distance (III)-(IV) est 178,5 mK.

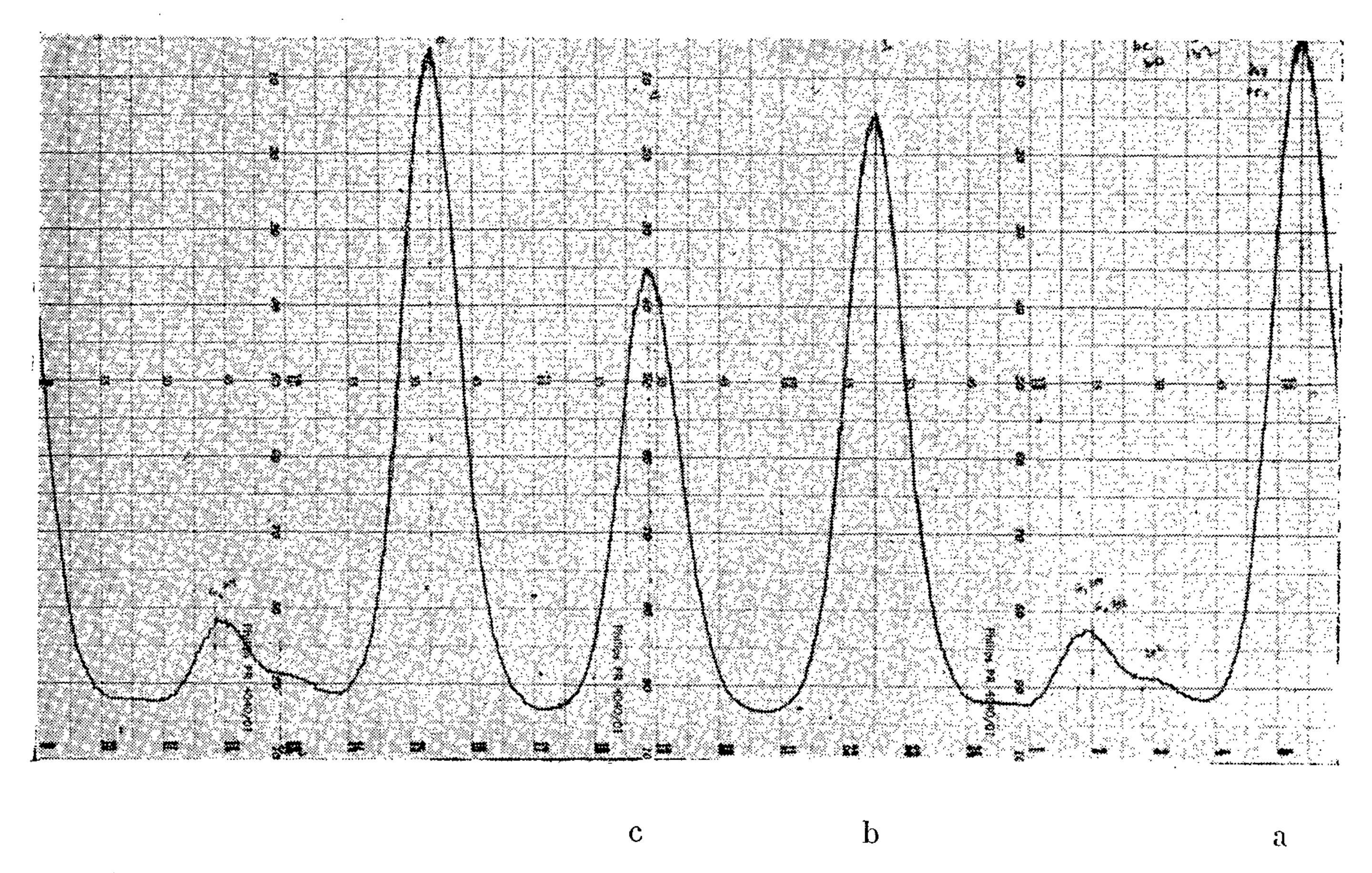


Fig. 2. — Structure hyperfine de la raie λ 2 537 Å de ^{201}Hg (spectromètre $E_1 + E_2$).

au laboratoire grâce à des échantillons de ces isotopes, séparés au spectrographe de masse du Laboratoire de Physique nucléaire de la Faculté des Sciences (Orsay) par M. Bernas.

Les distances respectives des composantes de la raie $6\,^3P_1 - 6\,^1S_0$ du mercure naturel et les intervalles de structure hyperfine du niveau $6\,^3P_1$ de ^{199}Hg et ^{201}Hg peuvent être mesurés sur ces enregistrements à partir d'un intervalle de référence. (Les miroirs des interféromètres ne sont pas,

dans ce type de montage, séparés par des cales étalons; les épaisseurs ne sont donc pas connues avec précision).

Nous avons d'abord adopté comme référence la séparation isotopique des composantes de ^{200}Hg et ^{202}Hg, qui a fait l'objet de plusieurs mesures antérieures (1) :

$$X_{200} - X_{202} = 178,5 \text{ mK}.$$

Nos enregistrements (dont la figure 2 donne un exemple) fournissent alors les séparations hyperfines :

de ^{199}Hg .... $A - B = 737,5$ mK;

de ^{201}Hg .... $\begin{cases} a - c = 722,5 \text{ mK}, \\ b - c = 251,5 \text{ mK}. \end{cases}$

Les valeurs de $A - B$ et $b - c$ sont en excellent accord avec celles qu'ont obtenues Blaise et Chantrel (2) à partir de la raie λ 4 078 Å ($6\,^3P_1 - 6s\,7s\,^1S_0$) soit 737,8 et 251,8 mK. Mais un écart notable se manifeste pour $a - c$ (718,2 mK selon Blaise et Chantrel).

Il est préférable, pour éviter de multiplier des erreurs d'origine graphique, d'adopter la distance $A - B$, avec la valeur 737,5 mK comme distance de référence pour étalonner le dispositif ($E_1 + E_2$).

On obtient enfin, pour distances des diverses composantes de λ 2 537 Å émis par le mercure naturel (la composante III due à X_{200} servant d'origine), en mK :

I.	II.	III.	IV.	V.
386	152,5	0	178,5	349

l'erreur possible variant entre 0,5 et 1 %.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) H. Schüler et J. E. Keyston, *Z. Phys.*, 72, 1931, p. 423; R. Lennuier et J. L. Cojan, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 1634; G. Derbois, *Diplôme d'Études Supérieures*, Paris, 1959.

(2) J. Blaise et H. Chantrel, *J. Phys. Rad.*, 18, 1957, p. 193.

SPECTROGRAPHIE HERTZIENNE. — *Sur les spectres hertziens d'orientation des polyalcools.* Note de Mme **Claude Moriamez**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Les permittivités complexes de quelques glycols à chaîne courte (éthane-diol, propane-diol-1.2, butane-diol-1.3, butane-diol-2.3, pentane-diol-1.5 heptane-diol-1.7) et du glycérol à l'état liquide, ont été déterminées dans l'intervalle de fréquence 0,01-25 000 MHz et pour des températures comprises entre — 40 et + 70° C. Des mesures de viscosité ont été également effectuées dans l'intervalle de température — 20 + 70° C.

Une hypothèse sur la structure associée des polyalcools est proposée pour rendre compte des résultats obtenus à partir des deux méthodes.

1. Les résultats des mesures diélectriques ont été analysés en admettant le principe de superposition ([1]) : l'examen des spectres hertziens conduit, dans tous les cas, à admettre, en effet, l'existence de plusieurs « domaines » de dispersion. Ayant déterminé, pour chaque composé, à chaque température, la constante diélectrique « statique » εo_i, la valeur de la permittivité $\varepsilon \infty_i$ (à une fréquence « infiniment » grande) et la fréquence critique Fc_i (correspondant au maximum d'absorption) caractérisant les différents domaines observables, nous pouvons formuler quelques remarques importantes en considérant les variations de ces divers paramètres en fonction de la température.

a. $\varepsilon \infty_1$ [ordonnée de l'origine de la droite $\varepsilon' = \varphi(\varepsilon''/F)$ ([2])] subit quand la température s'abaisse une brusque augmentation à une température variable avec le polyalcool considéré.

b. Aux températures les plus élevées, le spectre hertzien peut être décomposé en trois régions ou « domaines » de dispersion et d'absorption; mais il faut remarquer qu'aux basses températures on observe l'apparition (entre le « premier » et le « second » domaine) d'un *domaine supplémentaire* [par rapport aux trois domaines caractérisant les glycols aux hautes températures et les alcools en général ([3])] : nous l'affectons de l'indice 1 *b* à cause des analogies qu'il présente avec le premier domaine (situé aux plus basses fréquences).

Nous expliquons ainsi la discontinuité apparente observée pour $\varepsilon \infty_1$: aux basses températures $\varepsilon \infty_1$ était égal à $\varepsilon o_{1\,b}$; aux hautes températures les domaines 1 et 1 *b* deviennent inséparables et la constante diélectrique « limite » du domaine résultant tend vers $\varepsilon \infty_{1b}$.

c. Les valeurs de ε''_{1b} et ε'_{1b}, obtenues par soustraction, à partir des valeurs expérimentales, des valeurs théoriques de ε''_1 et ε'_1 se placent sur un demi-cercle dans le plan complexe. De même, les fonctions $\varepsilon'_{1b} = \varphi(F\varepsilon''_{1b})$ et $\varepsilon'_{1b} = \varphi(\varepsilon''_{1b}/F)$ ([2]) peuvent être toutes deux représentées par un segment de droite. Le mécanisme de relaxation responsable du domaine 1 *b* semble tel que l'absorption et la dispersion correspondantes suivent les lois de Debye, tout comme pour le mécanisme responsable du domaine 1.

2. La détermination des énergies d'activation E_1 et E_{1b} des processus d'orientation dipolaire 1 et 1 *b* [4] montre que E_1 est sensiblement égale à E_{1b} et pratiquement indépendante de la longueur de chaîne (tout au moins pour deux glycols de masse moléculaire différente mais portant des fonctions alcool de même classe).

$E_1 \# E_{1b} \# 10,2$ kcal/mole pour un glycol biprimaire (exception faite pour le premier terme);

$E_1 \# E_{1b} \# 11,2$ kcal/mole pour un glycol primaire-secondaire;

$E_1 \# E_{1b} \# 14,6$ kcal/mole pour le glycérol (entre — 20 et + 25° C).

Si par ailleurs, nous déterminons l'énergie d'activation Evis du phénomène d'écoulement visqueux par la pente de la droite $\log \eta = \varphi(1/T)$ (η, coefficient de viscosité) nous trouvons, pour un glycol donné, et même pour le glycérol :

$$E_1 \# E_{1b} \# E_{vis}.$$

3. Nous proposons pour interpréter cet ensemble de faits, un modèle de structure associée [5] dans lequel les molécules de glycol seraient liées par ponts hydrogène en chaînes polymériques : nous devons admettre que, dans ces chaînes, les liaisons hydrogène sont colinéaires pour expliquer par la suite les domaines 1 *b* et 2. Ces chaînes sont-elles mêmes reliées latéralement par d'autres liaisons hydrogène : cette organisation tridimensionnelle, observée effectivement par ailleurs aux rayons X [6], pour plusieurs polyalcools, est due à l'existence, dans la même molécule, de plusieurs hydroxyles.

Nous admettons avec MM. Bauer et Magat [7] que c'est la rupture des liaisons hydrogène qui gouverne la relaxation aux fréquences voisines de la fréquence critique du premier domaine; nous supposons en outre que la probabilité de rupture d'une liaison hydrogène existant entre deux molécules d'une même chaîne est plus faible que celle d'une liaison hydrogène reliant deux chaînes.

4. Le domaine 1 *b* est ainsi interprété comme résultant de la réorientation partielle de la molécule après rupture des liaisons hydrogène entre chaînes. On explique la disparition du domaine 1 *b* vers les hautes températures au moyen de considérations cinétiques.

En partant de cet ensemble d'hypothèses, nous pouvons interpréter les valeurs des énergies d'activation E_1, E_{1b} et E_{vis} : la réorientation dipolaire par les processus 1 et 1 *b* (de même que l'écoulement visqueux) nécessite, du point de vue énergétique, la rupture d'une liaison hydrogène par molécule suivie d'un certain déplacement relatif des chaînes polymériques. Nous assimilons approximativement le terme énergétique correspondant à cette translation à l'énergie d'activation de viscosité de la paraffine normale ayant même longueur que la chaîne polymérique constituée par *n* molécules de glycol : nous nous inspirons en celà d'une idée de Tyuzyo [8]. Il est possible de calculer la valeur moyenne de *n* à partir de l'amplitude

du troisième domaine de dispersion comme il l'a été fait par Brot ([3]) pour les alcools à chaîne moyenne. (n varie de 20 à 30 environ entre + 25 et — 20° C (pour le propane-diol-1-2 et le butane-diol-1-3).

Nous trouvons ainsi, à partir des données diélectriques et viscosimétriques, les valeurs suivantes pour ΔH énergie de dissociation de la liaison hydrogène :

$\Delta H = 4,7 \pm 0,7$ kcal/mole (glycol biprimaire).
$\Delta H = 6,3 \pm 0,7$ kcal/mole (glycol primaire-secondaire).

valeurs tout à fait comparables à celles calculées par Shimada ([9]) et Lippincott ([10]) à partir de distances interatomiques déterminées aux rayons X pour l'i-érythritol, soit 4,3 kcal/mole pour les fonctions alcool primaire et 6,7 kcal/mole pour les fonctions alcool secondaire.

([1]) J. G. Powles, *J. Chem. Phys.*, 21, 1953, p. 633.
([2]) R. H. Cole, J. *Chem. Phys.*, 23, 1955, p. 493.
([3]) C. Brot, *Thèse*, Paris, 1956.
([4]) Glastone, Laidler et Eyring, *The theory of rate processes*, Mc Graw Hill, New-York, 1941.
([5]) Mme Cl. Moriamez, née Boullet, *Thèse Doctorat*, Lille (sous presse).
([6]) J. D. Bernal, *Hydrogen Bonding*, Pergamon Press, Londres, 1959, p. 7.
([7]) E. Bauer, *Cah. Phys.*, 20, 1944, p. 1; 21, 1944, p. 21; M. Magat, *J. Chim. Phys.*, 45, 1948, p. 95.
([8]) K. Tyuzyo, *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 30, 1957, p. 782.
([9]) A. Shimada, *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 32, 1959, p. 325-329 et 330-333.
([10]) E. R. Lippincott et R. Schroeder, *J. Chem. Phys.*, 23, 1955, p. 1099.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Relations dans la diffusion proton-proton, entre les quantités expérimentales et les coefficients de la matrice* M *de Wolfenstein.* Note de M. **Michel Lacombe**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous donnons dans le cas de la diffusion élastique d'un faisceau de protons polarisé sur une cible de protons polarisée, les expressions de la section efficace et des fonctions de corrélation au moyen des coefficients de la matrice M de diffusion. Nous rappelons, dans le cas où la cible n'est pas polarisée les relations entre M et diverses observables.

En suivant Wolfenstein [1], nous décrirons la diffusion proton-proton par la matrice M :

$$M = BS + C(\vec{\sigma}_1 + \vec{\sigma}_2).\vec{n} + N(\vec{\sigma}_1.\vec{n})(\vec{\sigma}_2.\vec{n})T + \frac{1}{2}G\left[(\vec{\sigma}_1.\vec{K})(\vec{\sigma}_2.\vec{K}) + (\vec{\sigma}_1.\vec{P})(\vec{\sigma}_2.\vec{P})\right]T$$
$$+ \frac{1}{2}H\left[(\vec{\sigma}_1.\vec{K})(\vec{\sigma}_2.\vec{K}) - (\vec{\sigma}_1.\vec{P})(\vec{\sigma}_2.\vec{P})\right]T.$$

Les notations utilisées sont celles de Kanellopoulos et Brown [2].

Toute quantité observable s'exprime par une combinaison quadratique des coefficients B, C, G, H, N. La mesure d'une observable établit donc, pour la valeur de l'angle θ à laquelle elle a été faite, une relation entre les coefficients de la matrice M. Ces coefficients, au nombre de cinq, sont complexes; il faut donc, au moins, neuf relations indépendantes entre ces coefficients pour déterminer la matrice M, à un facteur de phase près.

La section efficace de diffusion est notée :

$I^0(\theta)$ dans le cas d'un faisceau incident et d'une cible non polarisé;

$I^\alpha(\theta, \varphi)$ lorsque le faisceau incident seul est polarisé (avec une polarisation $\vec{\alpha}$);

$I^{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ lorsque, en plus, la cible est polarisée (avec une polarisation $\vec{\beta}$).

Une notation analogue est utilisée pour les fonctions de corrélation $C_{lm}(\theta, \varphi) = \left\langle (\vec{\sigma}_1.\vec{l}), (\vec{\sigma}_2.\vec{m}) \right\rangle$; D, A, A′, R et R′ sont les paramètres de Wolfenstein [1].

Expressions de diverses observables en fonction des coefficients de M :

a. Cas où le faisceau incident et la cible ne sont pas polarisés :

$$4I^0(\theta) = \mu_1,$$
$$4I^0(\theta)\overline{\langle \vec{\sigma}_1.\vec{n} \rangle}_f^0 = \mathrm{Re}\,\mu_2,$$
$$4I^0(\theta)C_{nn}^0(\theta) = \mu_3,$$
$$4I^0(\theta)C_{KP}^0(\theta) = -\mathrm{Im}\,\mu_4.$$

b. Cas où le faisceau incident seul est polarisé :

$$4I^\alpha(\theta, 0°) = \mu_1,$$
$$4I^\alpha(\theta, 90°) = \mu_1 + \alpha\,\mathrm{Re}\,\mu_2,$$
$$4I^0(\theta)D(\theta) = \mathrm{Re}\,\mu'_7.$$

Seul D fait intervenir une combinaison quadratique nouvelle, Re μ'_7 :

$$4\,I^0(\theta)\,A(\theta) = -\left(\operatorname{Re}\mu_{12}\sin\frac{\theta}{2} - \operatorname{Im}\mu_{14}\cos\frac{\theta}{2}\right),$$

$$4\,I^0(\theta)\,R(\theta) = \operatorname{Re}\mu_{12}\cos\frac{\theta}{2} + \operatorname{Im}\mu_{14}\sin\frac{\theta}{2},$$

$$4\,I^0(\theta)\,A'(\theta) = \operatorname{Re}\mu_{10}\cos\frac{\theta}{2} + \operatorname{Im}\mu_{14}\sin\frac{\theta}{2},$$

$$4\,I^0(\theta)\,R'(\theta) = \operatorname{Re}\mu_{10}\sin\frac{\theta}{2} - \operatorname{Im}\mu_{14}\cos\frac{\theta}{2}.$$

La mesure de A et R permet d'atteindre deux combinaisons nouvelles Re μ_{12} et Im μ_{14}; si l'on y ajoute celle de A′ ou celle de R′ on peut atteindre Re μ_{10} :

$$4\,I^\alpha(\theta, 90^\circ)\,C_{PK}^\alpha(\theta, 90^\circ) = -\operatorname{Im}\mu_4 - \alpha\operatorname{Im}\mu_8,$$

$$4\,I^\alpha(\theta, 0^\circ)\,C_{Kn}^\alpha(\theta, 0^\circ) = -\left(\operatorname{Im}\mu_9\sin\frac{\theta}{2} + \operatorname{Re}\mu_{14}\cos\frac{\theta}{2}\right)\alpha,$$

$$4\,I^\alpha(\theta, 0^\circ)\,C_{nP}^\alpha(\theta, 0^\circ) = \left(\operatorname{Re}\mu_{13}\sin\frac{\theta}{2} - \operatorname{Im}\mu_{12}\cos\frac{\theta}{2}\right)\alpha.$$

Avec un champ magnétique précédant la diffusion, la polarisation du faisceau peut avoir une composante suivant la direction incidente; pour $\varphi = 90^\circ$, $\vec{\alpha} = \alpha_1\vec{n} + \alpha_2\left[\vec{P}\cos(\theta/2) - \vec{K}\sin(\theta/2)\right]$. On a alors les fonctions C′ :

$$4\,I^\alpha(\theta, 90^\circ)\,C'^\alpha_{nP}(\theta, 90^\circ) = -\alpha_2\left(\sin\frac{\theta}{2}\operatorname{Im}\mu_{12} + \cos\frac{\theta}{2}\operatorname{Re}\mu_{13}\right),$$

$$4\,I^\alpha(\theta, 90^\circ)\,C'^\alpha_{Kn}(\theta, 90^\circ) = \alpha_2\left(\cos\frac{\theta}{2}\operatorname{Im}\mu_9 - \sin\frac{\theta}{2}\operatorname{Re}\mu_{14}\right).$$

$C_{KP}^\alpha(\theta, 90^\circ)$ introduit Im μ_8; les quatre suivants introduisent Im μ_9, Im μ_{12}, Re μ_{13} et Re μ_{14}.

c. Cas où le faisceau incident et la cible sont polarisés :

$$4\,I^{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = \mu_1 + (\vec{\alpha}.\vec{n} + \vec{\beta}.\vec{n})\operatorname{Re}\mu_2 + (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{n})\mu_3 + (\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{P})\mu_6 + (\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{K})\mu_5 - \left[(\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{P}) + (\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{K})\right]\operatorname{Im}\mu_4.$$

Les mesures de $I^{\alpha\beta}(\theta, 0^\circ)$ pour $\vec{\beta}\parallel\vec{P}$ et $\vec{\beta}\parallel\vec{K}$ conduisent à μ_5 et μ_6 :

$$4\,I^{\alpha\beta}(\theta, \varphi)\,C_{nn}^{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = \mu_3 - (\vec{\alpha}.\vec{n} + \vec{\beta}.\vec{n})\operatorname{Re}\mu_2 + (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{n})\mu_1 - (\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{P})\mu_5 - (\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{K})\mu_6 - \left[(\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{K}) + (\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{P})\right]\operatorname{Im}\mu_4.$$

$C_{nn}^{\alpha\beta}$ n'introduit pas de combinaison nouvelle,

$$4\,I^{\alpha\beta}(\theta, \varphi)\,C_{KP}^{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = -\operatorname{Im}\mu_4 - (\vec{\alpha}.\vec{n})\operatorname{Im}\mu_8 + (\vec{\beta}.\vec{n})\operatorname{Im}\mu_7 - (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{n})\operatorname{Im}\mu_4 - (\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{K})\operatorname{Re}\mu_8 + (\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{P})\operatorname{Re}\mu_7.$$

Les mesures de $C_{KP}^{\alpha\beta}(\theta, 0^0)$ pour $\vec{\beta} \parallel \vec{P}$ et $\vec{\beta} \parallel \vec{K}$ conduisent aux combinaisons $\mathrm{Re}\,\mu_7$, $\mathrm{Re}\,\mu_8$:

$$4\,I^{\alpha\beta}(\theta,\varphi)\,C_{Kn}^{\alpha\beta}(\theta,\varphi) = (\vec{\alpha}.\vec{P})\,\mathrm{Im}\,\mu_9 + (\vec{\alpha}.\vec{K})\,\mathrm{Re}\,\mu_{14} - (\vec{\beta}.\vec{P})\,\mathrm{Im}\,\mu_{10} - (\vec{\beta}.\vec{K})\,\mathrm{Re}\,\mu_{13} + (\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{n})\,\mathrm{Im}\,\mu_{14} - (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{P})\,\mathrm{Im}\,\mu_{13} + (\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{n})\,\mathrm{Re}\,\mu_{12} - (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{K})\,\mathrm{Re}\,\mu_9.$$

En mesurant $C_{Kn}^{\alpha\beta}$ pour $\vec{\beta} \parallel \vec{P}$ et $\varphi = 90$ et 270^0, on peut atteindre $\mathrm{Im}\,\mu_{10}$ et $\mathrm{Im}\,\mu_{13}$; avec $\vec{\beta} \parallel \vec{K}$ et $\varphi = 90^0$ on atteint $\mathrm{Re}\,\mu_9$:

$$4\,I^{\alpha\beta}(\theta,\varphi)\,C_{nP}^{\alpha\beta}(\theta,\varphi) = -(\vec{\alpha}.\vec{P})\,\mathrm{Re}\,\mu_{13} + (\vec{\alpha}.\vec{K})\,\mathrm{Im}\,\mu_{12} + (\vec{\beta}.\vec{P})\,\mathrm{Re}\,\mu_{14} - (\vec{\beta}.\vec{K})\,\mathrm{Im}\,\mu_{11} - (\vec{\alpha}.\vec{P})(\vec{\beta}.\vec{n})\,\mathrm{Re}\,\mu_{11} + (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{P})\,\mathrm{Re}\,\mu_{10} + (\vec{\alpha}.\vec{K})(\vec{\beta}.\vec{n})\,\mathrm{Im}\,\mu_{13} - (\vec{\alpha}.\vec{n})(\vec{\beta}.\vec{K})\,\mathrm{Im}\,\mu_{14}.$$

En mesurant $C_{nP}^{\alpha\beta}$ pour $\vec{\beta} \parallel \vec{n}$ et $\varphi = 0^0$ on atteint $\mathrm{Re}\,\mu_{11}$.

Les expressions des paragraphes *a* et *b* ont été obtenues par Kanellopoulos et Brown (²) sous une forme peu différente. On obtient celles du paragraphe *c* en généralisant les formules de Brown ou en utilisant celles de Puzikov-Ryndin et Smorodinsky (³) donnant en particulier $\mathrm{Tr}\left[M(\vec{\sigma}_1.\vec{\alpha})(\vec{\sigma}_2.\vec{\beta})\,M^{\dagger}(\vec{\sigma}_1.\vec{l})(\vec{\sigma}_2.\vec{m})\right]$.

COMBINAISONS QUADRATIQUES UTILISÉES :

$$\begin{aligned}
\mu_1 &= BB^* + 8CC^* + (G-N)(G-N)^* + 2NN^* + 2HH^*,\\
\mu_2 &= 8CN^*,\\
\mu_3 &= -BB^* + 8CC^* - (G-N)(G-N)^* + 2NN^* + 2HH^*,\\
\mu_4 &= 8CH^*,\\
\mu_5 &= BB^* + (G-N)(G-N)^* + 2(N+H)(N+H)^* - 2NN^* - 2HH^*,\\
\mu_6 &= -BB^* + (G-N)(G-N)^* - 2(N+H)(N+H)^* + 2NN^* + 2HH^*,\\
\mu_7 &= 2[B(G-N)^* + (N-H)(N+H)^* - 4CC^*],\\
\mu'_7 &= 2[B(G-N)^* + (N-H)(N+H)^* + 4CC^*].\\
\mu_8 &= 2[B(G-N)^* - (N-H)(N+H)^* + 4CC^*],\\
\mu_9 &= 2[B(N+H)^* - (G-N)^*(N-H)],\\
\mu_{10} &= 2[B(N+H)^* + (G-N)^*(N-H)],\\
\mu_{11} &= 2[B(N-H)^* - (G-N)^*(N+H)],\\
\mu_{12} &= 2[B(N-H)^* + (G-N)^*(N+H)],\\
\mu_{13} &= 4[B-(G-N)]C^*,\\
\mu_{14} &= 4[B+(G-N)]C^*.
\end{aligned}$$

(¹) L. WOLFENSTEIN, *Phys. Rev.*, 96, 1954, p. 1654.
(²) T. V. KANELLOPOULOS et G. E. BROWN, *Proc. Phys. Soc.*, A 70, 1957, p. 690.
(³) L. PUZIKOV, R. RYNDIN et J. SMORODINSKY, *Nuclear Phys.*, 3, 1957, p. 436.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Le spectre du béryllium* 8 *produit lors de la désintégration* β *du lithium* 8. Note (*) de MM. **Roland Bilwes**, **Raymond Seltz**, **Claude Gérardin** et Mme **Denise Magnac-Valette**, transmise par M. Francis Perrin.

Nous avons étudié la décomposition du ^{8}Be produit par la désintégration β du ^{8}Li à l'aide de deux méthodes spectrométriques différentes. Les résultats sont comparables. Seul le niveau de 2,9 MeV apparaît dans le spectre d'énergie des particules α analysées.

Dispositif expérimental. — Le schéma expérimental est indiqué dans la figure 1. Les noyaux de ^{8}Li sont formés par la réaction ^{7}Li (*d*, *p*) ^{8}Li. Les deutérons de 5 MeV provenant de l'accélérateur Van de Graaff du Centre de Recherches de Cronenbourg sont diaphragmés et frappent une cible de lithium sur support aluminium. Les noyaux de ^{8}Li sont, à condition que leur production se fasse près de la surface de la cible, éjectés de celle-ci

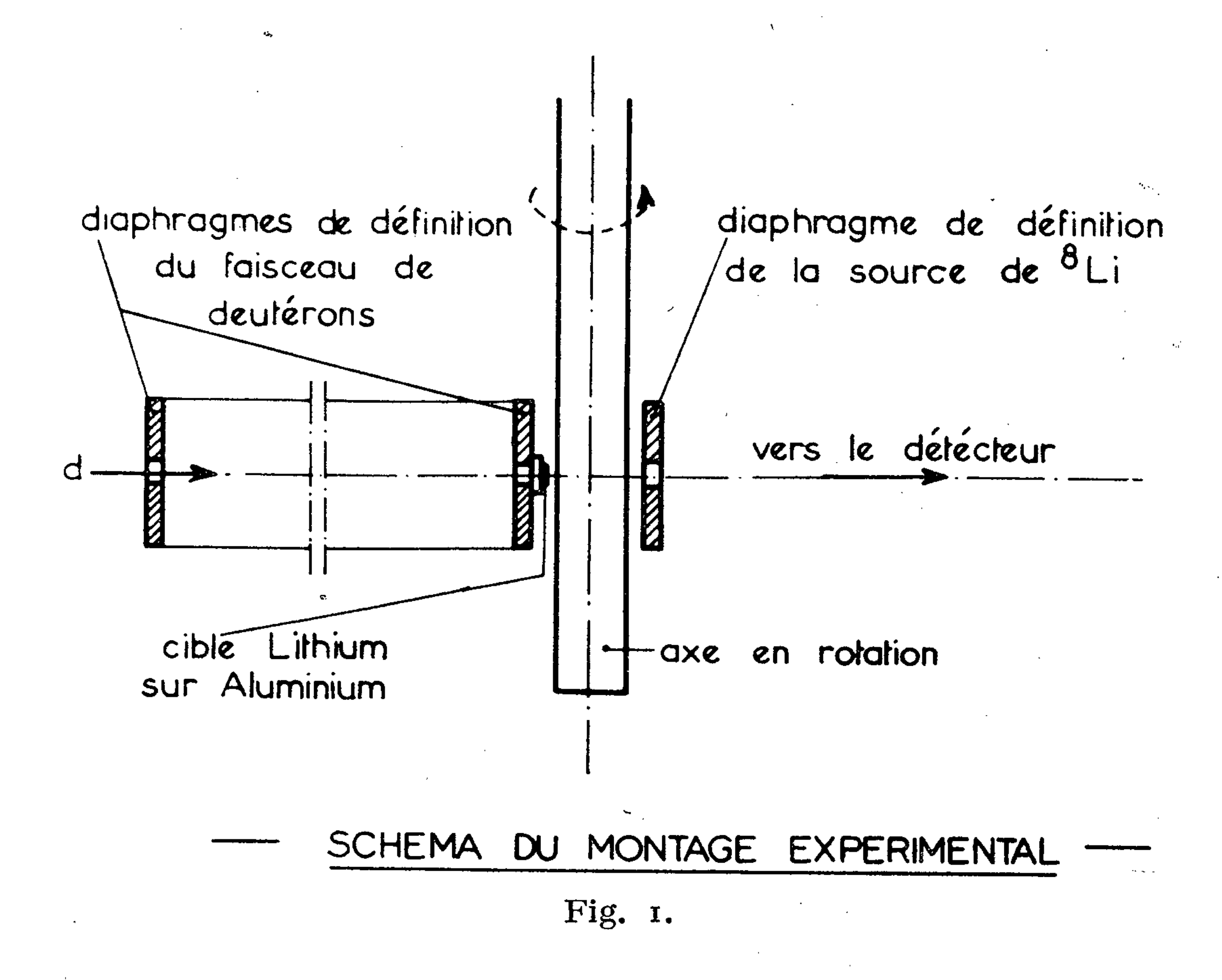


Fig. 1.

suivant un cône dont le demi-angle au sommet est d'environ 40°. Un axe en rotation situé sensiblement à 0,2 mm de la cible recueille les noyaux de ^{8}Li ainsi formés. La cible est constituée par une feuille de 5/1000e de millimètre d'aluminium recouverte d'une couche de 0,2 mg/cm² de lithium naturel. Le faisceau de deutérons est délimité par deux diaphragmes circulaires de 1,5 mm de diamètre distants de 4 cm. Le cylindre tournant a un diamètre de 6 mm. Sa vitesse de rotation est de l'ordre de 500 t/mn. Nous fabriquons ainsi une source de ^{8}Li ayant la forme d'un anneau de 1,7 mm

de largeur et de 6 mm de diamètre. Dans la direction du détecteur, à quelques dixièmes de millimètre, une fente de 1,5 mm de largeur et de 2 mm de longueur ouvre la voie aux α de la désintégration.

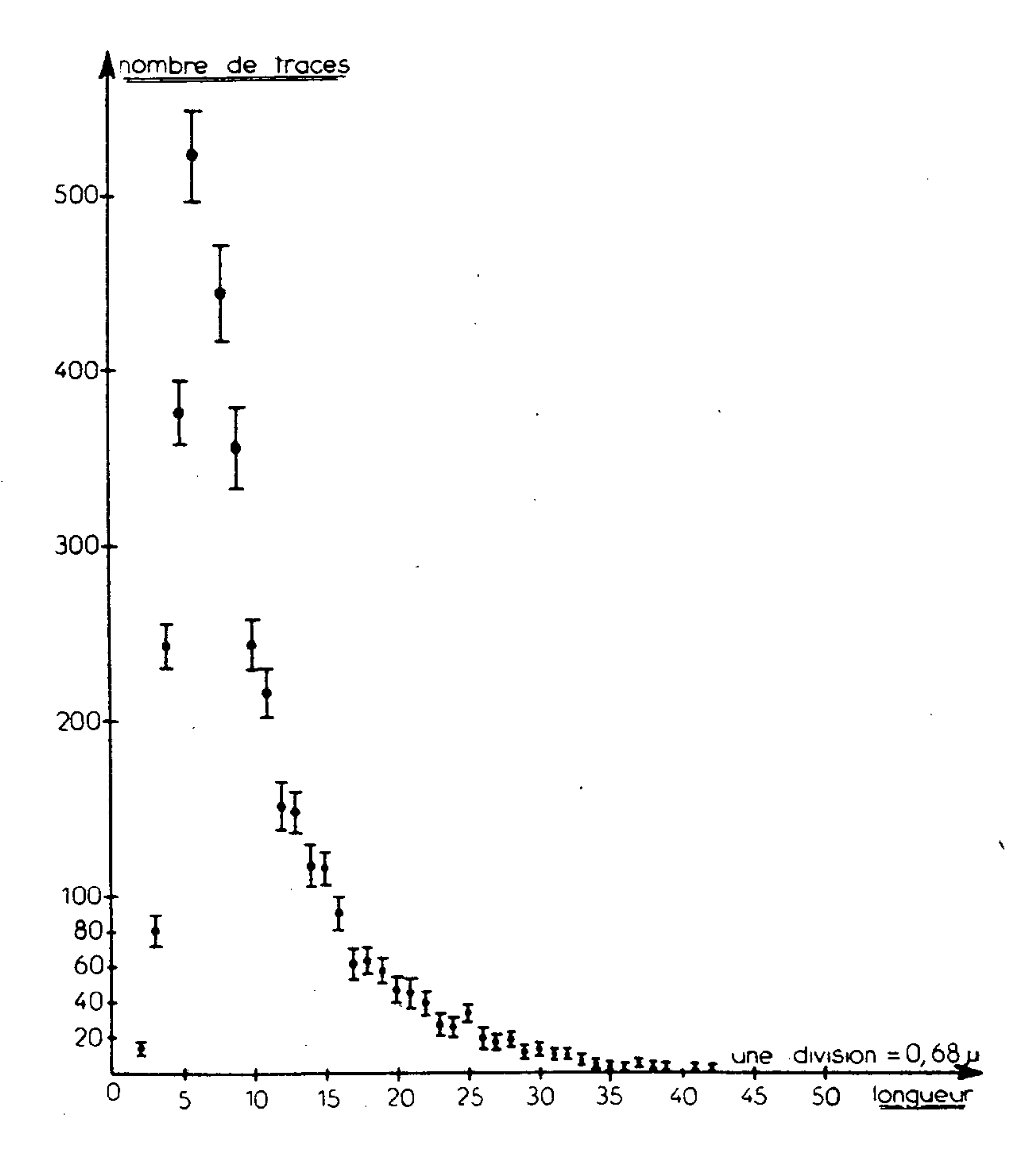


Fig. 2. — Spectre α (nombre total de traces : 4 500) de desexcitation du ^8Be. Méthode de détection : plaque nucléaire sans spectrographe.

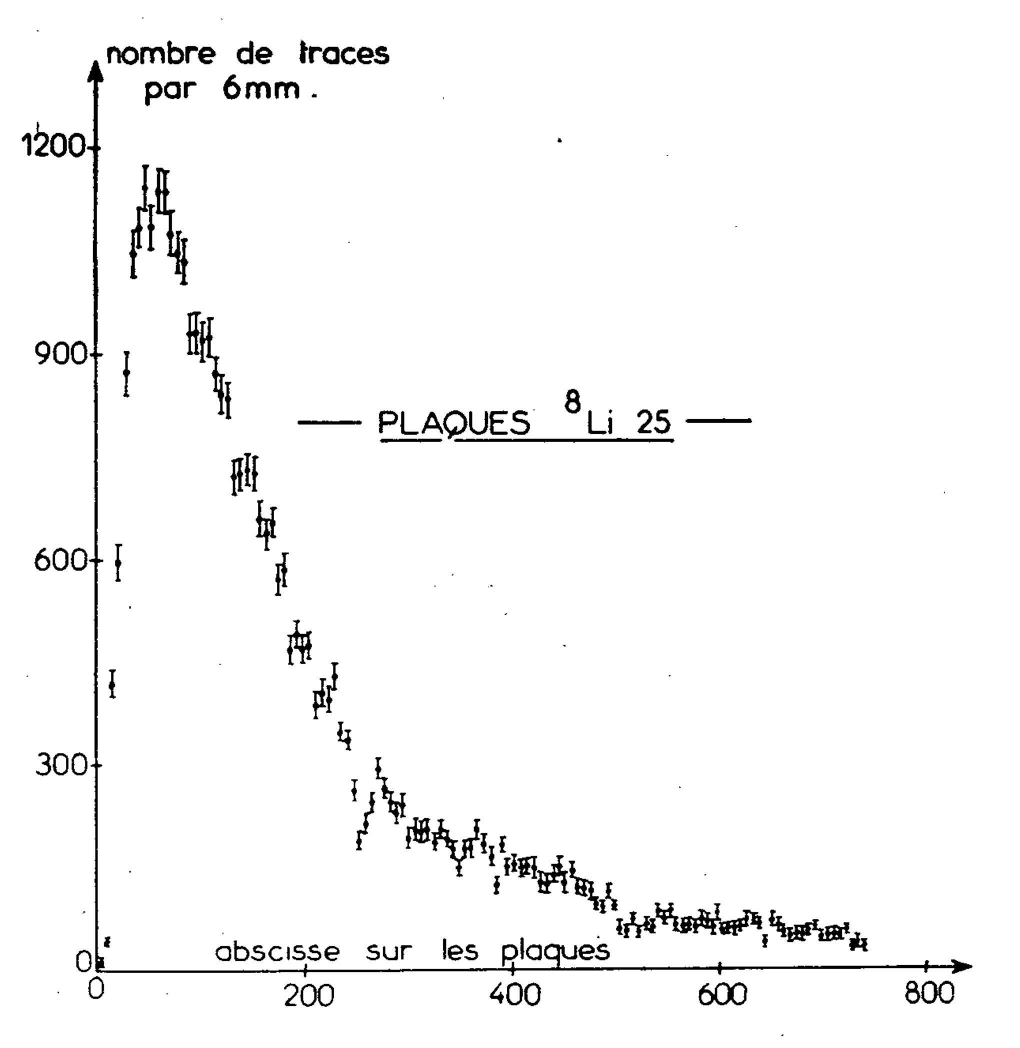


Fig. 3. — Spectre réalisé à l'aide du spectrographe Buechner. L'échelle d'énergie s'étale entre 1,3 et 3,5 MeV.

Les particules α ont été analysées de deux manières différentes :

1° avec une plaque nucléaire Ilford E_1 50 μ en utilisant la relation parcours-énergie pour les mesures d'énergie;

2° avec un spectrographe magnétique de particules lourdes du type Buechner. Dans cette deuxième expérience, la résolution est meilleure.

Les courbes expérimentales sont données dans les figures 2, 3 et 4.

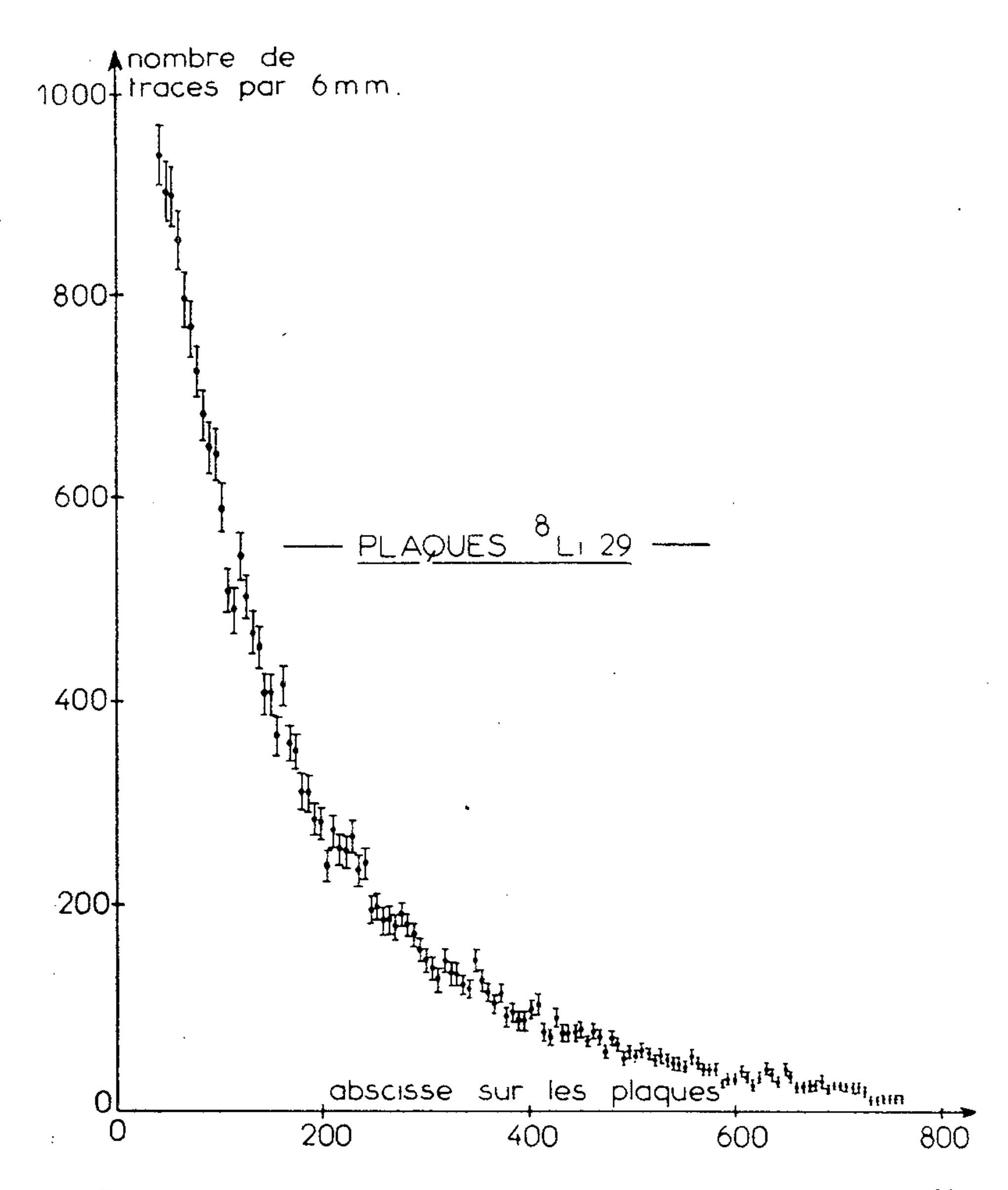


Fig. 4. — **Spectre α réalisé à l'aide du spectrographe Buechner. Échelle d'énergie : 2,3 à 4,8 MeV.**

Conclusion. — Les spectres obtenus avec les deux méthodes expérimentales sont en accord. Il n'y a aucune indication de niveaux situés entre 2,9 et 10 MeV. Une contribution éventuelle d'un niveau situé à 11,7 MeV devrait être visible sur le spectre de la figure 2, qui s'étend jusqu'à une énergie de 6,2 MeV. Le nombre de traces correspondant à une énergie d'excitation du ^{8}Be supérieure à 10 MeV est de 50. La contribution éventuelle d'un niveau situé entre 11 et 12 MeV est donc certainement inférieure à 1 % (1), (2).

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) GILBERT, *Phys. Rev.*, 98, 1955, p. 275 A.

(2) BILWES, SELTZ, SUFFERT, GERARDIN, LINCK, D. MAGNAC-VALETTE et P. CUER, *J. Phys. Rad.*, 21, 1960, p. 376.

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE. — *Fabrication d'une émulsion ionographique en présence d'un excès d'ions* Ag^+. Note (*) de M. **François Simon**, transmise par M. Francis Perrin.

On décrit le processus de fabrication d'une émulsion ionographique au cours duquel est contrôlée à chaque instant la concentration en ions Ag^+. On essaie de préciser la valeur optimale de ce paramètre pour obtenir la meilleure sensibilité et le voile le moindre. Les émulsions obtenues sont sensibilisées par la triéthanolamine, soit en refonte, soit au trempé.

Poursuivant nos essais de préparation d'émulsions ionographiques, nous avons été conduit à abandonner le contrôle volumétrique des débits des solutions de nitrate d'argent et de bromure de potassium pour utiliser la méthode du double jet en conjuguant les dispositifs de Demers ([1]) et de

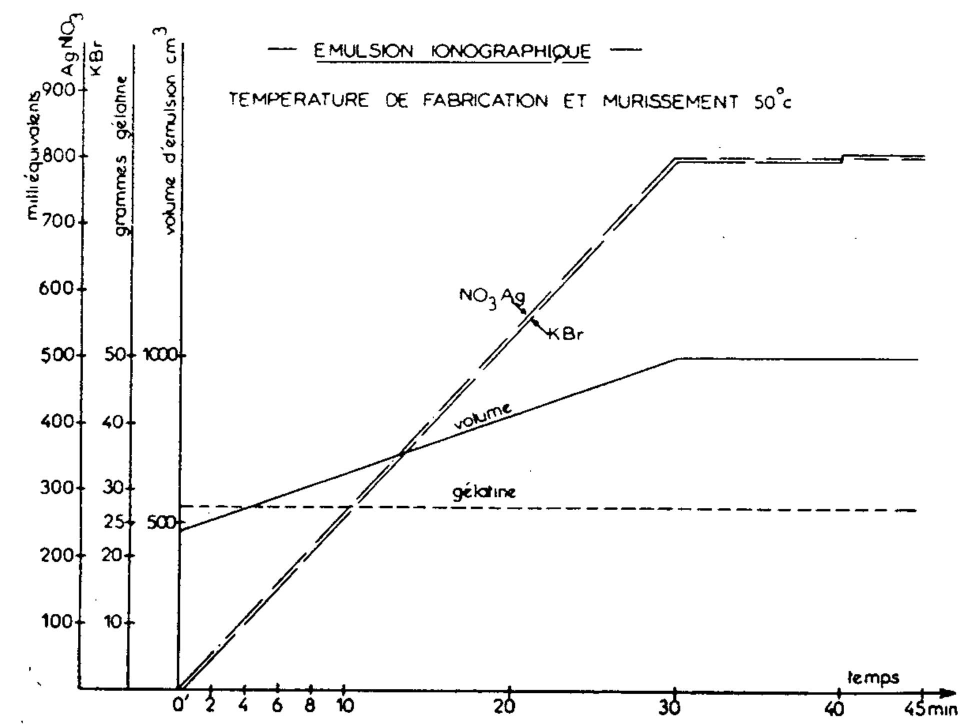


Fig. 1. — Représentation graphique de la précipitation.

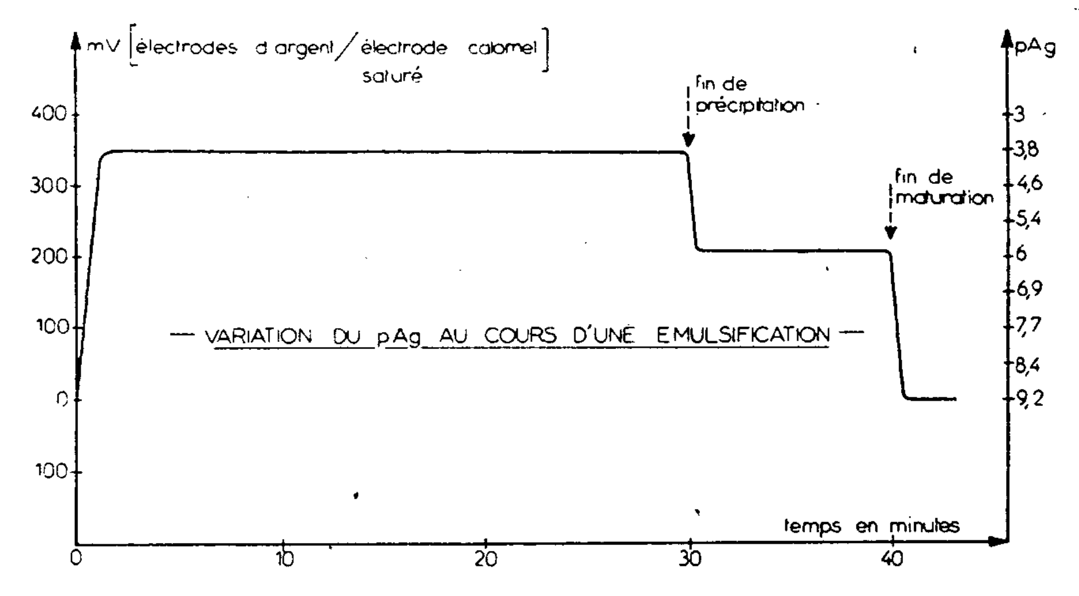


Fig. 2. — Variation du p-Ag au cours de la préparation.

Perfilov ([2]). Nous utilisons pour l'injection des solutions de réactifs, deux seringues en acier inoxydable, chacune mue par son moteur; en cours de précipitation, le contrôle de la concentration en ions Ag^+ est assuré continûment par potentiomètre au moyen d'une électrode d'argent et d'une élec-

trode de calomel saturé reliée au milieu réactionnel par un pont de nitrate de potassium N/10. Les solutions sont introduites au ras de la surface de la solution de gélatine, avec un débit moyen de 50 ml en 30 mn. Le débit est constant dans tous les cas où l'on ne fait pas varier le p-Ag en cours de

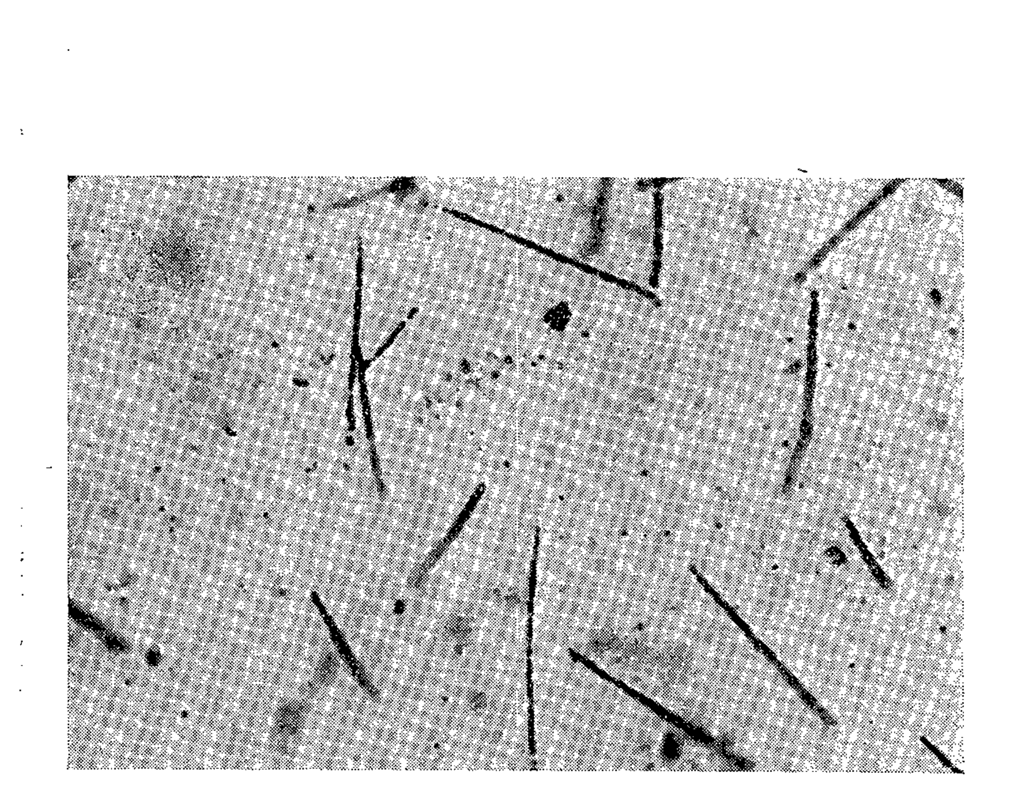
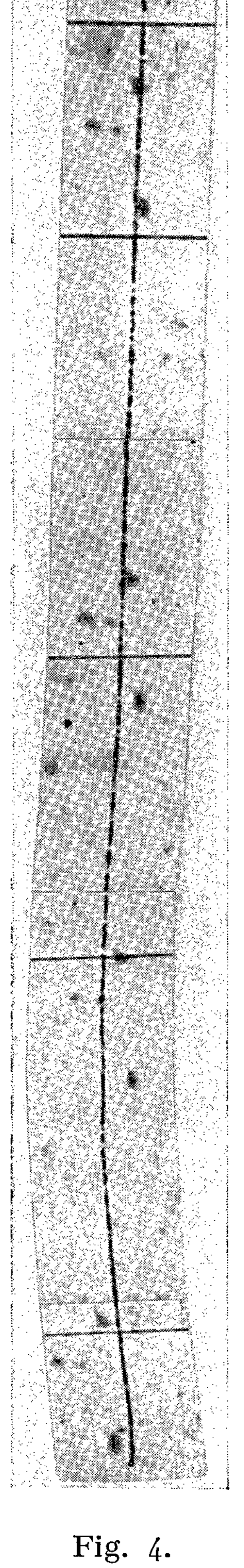


Fig. 3.

Fig. 3. — Particules du polonium (G × 1000).



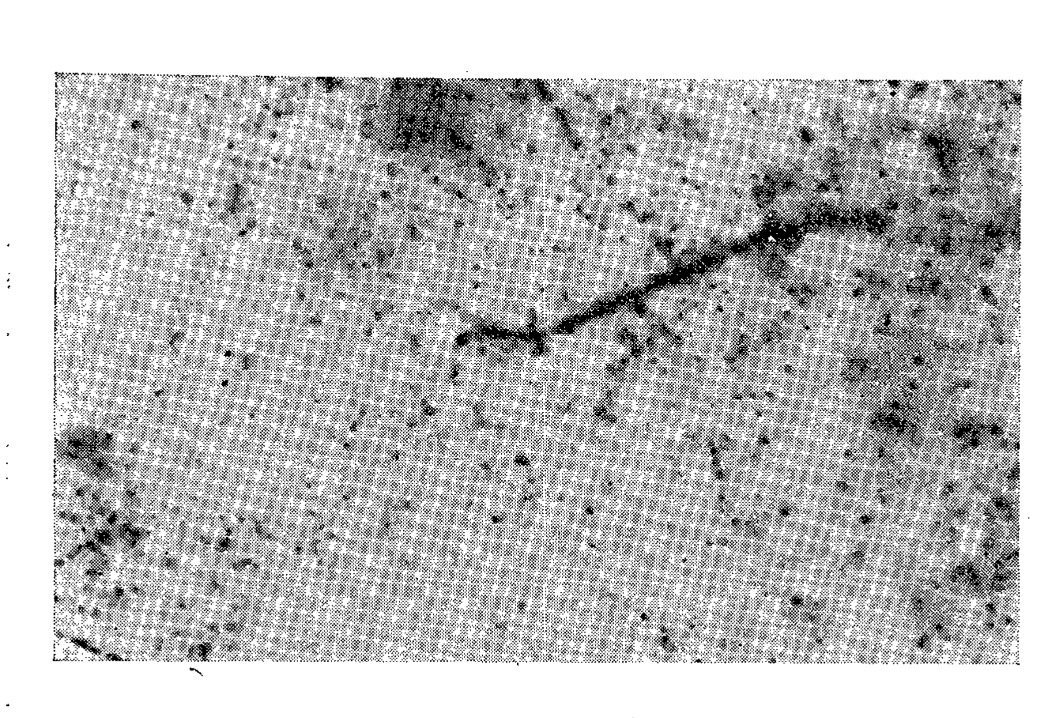


Fig. 5.

Fig. 4.

Fig. 4. — Protons de recul (G × 750).

Fig. 5. — Trace de fission dans une émulsion imprégnée à l'uranium, exposée dans un flux de 10^{10} neutrons.

précipitation. La vitesse d'agitation est fixée à 250 t/mn, dans la plupart des cas.

Les concentrations et quantités des différentes solutions employées pour un lot sont :

Solution I : Eau, 100 cm^3; gélatine, 6 g;
» II : » 50 » ; NO_3Ag, 30 g.;
» III : » 50 » ; KBr, 21 g.

Le déroulement de la précipitation, qui se fait à 50° C est représenté sur la figure 1, où l'on s'est servi de la représentation graphique préconisée par Ammann-Brass ([3]). Les quantités portées en ordonnées sont relatives à un volume final de l'émulsion égal à 1000 cm^3. On introduit les deux solutions simultanément, mais le nitrate d'argent plus rapidement que le bromure jusqu'à ce que le *p*-Ag voulu soit atteint, ensuite les deux solutions s'écoulent avec la même rapidité. On maintient le *p*-Ag constant durant la précipitation. Nous n'avons pas trouvé de meilleurs résultats en provoquant durant la précipitation des variations brusques du *p*-Ag, comme fait Perfilov, si bien qu'on peut représenter par la figure 2 l'évolution du *p*-Ag durant une fabrication. Maintenu à 3,8 pendant la précipitation, il est élevé à 6, dès que celle-ci est terminée, maintenu à cette valeur pendant une maturation de 10 mn, puis porté à la valeur 9,2 avant de mettre l'émulsion à figer. L'émulsion est conservée à 4° C pendant 15 h environ avant d'être lavée à l'eau courante durant 6 h. Après lavage, le *p*-Ag de l'émulsion se trouve être de 6,8. En refonte, nous n'ajoutons que 2 cm^3 d'une solution de glycérine dans l'eau à 50 %, si ce n'est une solution aqueuse de triéthanolamine pour la sensibilisation. On préfère cependant généralement sensibiliser après étendage de l'émulsion sur plaque de verre et séchage. Dans ce cas, on agit par trempage des plaques dans une solution aqueuse de triéthanolamine à 2 % durant 15 mn et les émulsions sont séchées dans un courant d'air à 15-18° C. Les plaques sont développées durant 40 mn dans un révélateur à l'amidol.

Les figure 3 à 5 montrent des particules α du polonium, un proton de recul dans une émulsion sensibilisée ainsi qu'une trace de fission dans une émulsion non sensibilisée et non murie. Des mesures de taille des grains vierges, de sensibilité aux différentes particules sont en cours, mais on peut déjà constater que le grain obtenu est très petit, l'émulsion propre et facilement reproductible.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) P. Demers, *Science*, 110, n° 2858, 1949, p. 380; *Cand. J. Phys.*, 32, 1954, p. 538.

([2]) N. R. Perfilov, *Conf. Int. Radioisotopes*, UNESCO/NS/RIC/7.

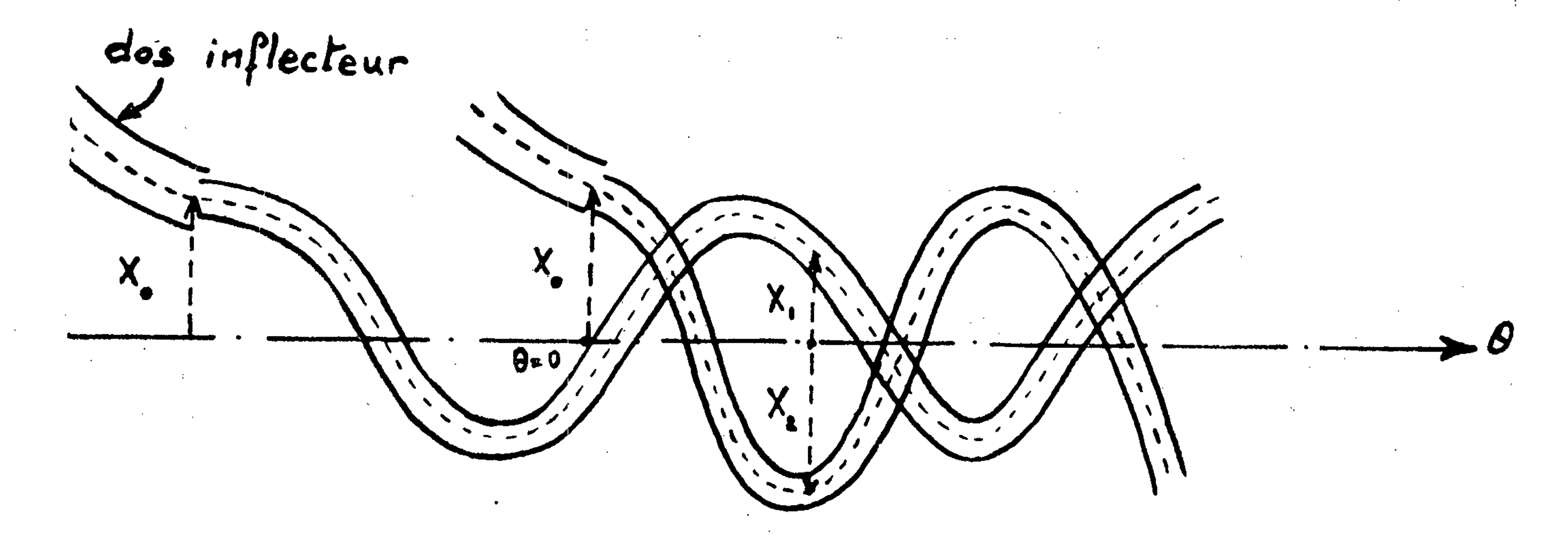
([3]) H. Ammann-Brass, *Photographic Sensitivity*, Butterworths, London, 1951, p. 79.

ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES. — *Interaction de deux tours consécutifs injectés dans un accélérateur circulaire.* Note (*) de M. **Alain Nakach**, transmise par M. Francis Perrin.

On explique un mécanisme de perte de particules par effet de charge d'espace observé, en particulier, dans *Saturne* : Dans les synchrotrons à injection par spiralisation, deux tours injectés se trouvent en présence et interagissent. On montre qu'un des faisceaux est repoussé sur l'injecteur.

Dans tous les synchrotrons à protons dans lesquels on injecte à une énergie relativement basse, on se heurte expérimentalement à une limite d'intensité bien au-dessous de la valeur prévue par la théorie élémentaire de charge d'espace dont on dispose actuellement.

Ce phénomène est observé dans le synchrotron du C. E. N. de Saclay : *Saturne.* Tant que la charge d'espace n'intervient pas, l'intensité de *Saturne*



est en accord avec celle donnée par la théorie; mais, lorsqu'on cherche à augmenter cette intensité, des écarts apparaissent et l'on se heurte à cette limite.

On a réussi à isoler récemment ([1]) un phénomène simple dû à la charge d'espace dont la théorie actuelle ne tient pas compte et qui semble une des causes de la limitation observée.

Ce nouveau mécanisme consiste en l'interaction de deux faisceaux élémentaires injectés l'un après l'autre. Expérimentalement, on a mis en évidence le fait que l'un des deux faisceaux se trouve repoussé sur la pièce métallique appelée inflecteur qui sert à l'injection et perd 20 % de son intensité environ. A faible intensité, l'expérience montre que chaque tour spirale vers l'intérieur de la machine et évite « l'inflecteur ».

Je propose ici une explication : On considère le mode d'injection par spiralisation (*voir* la figure). Les premières particules injectées se trouvent, au bout d'un tour, en présence d'autres particules injectées à ce moment-là. Si l'on arrête l'injection lorsque les premières particules ont fait deux

tours de machine, les deux faisceaux cheminent alors ensemble et interagissent.

Nous avons supposé les faisceaux de section constante et circulaire (rayon a) de densité uniforme. Nous avons calculé l'interaction des deux faisceaux comme l'action de quelques mètres d'un des faisceaux sur une particule de la fibre moyenne de l'autre, et réciproquement. Le champ électrique est approximativement celui d'un faisceau infini :

$$E_x \text{ proportionnel à } f(x) = \begin{cases} x & \text{si } |x| \leqq a, \\ \dfrac{a^2}{x} & \text{si } |x| \leqq a, \end{cases}$$

Les équations d'oscillations des deux particules tests s'écrivent

$$\frac{d^2 x_1}{d\theta^2} + Q^2 x_1 = -\mathrm{A} f(x_2 - x_1),$$

$$\frac{d^2 x_2}{d\theta^2} + Q^2 x_2 = \mathrm{A} f(x_2 - x_1),$$

soit par addition

$$(x_1 + x_2)'' + Q^2 (x_1 + x_2) = 0,$$

ce qui donne une solution sinusoïdale, et par soustraction :

$$(x_2 - x_1)'' + Q^2 (x_2 - x_1) = 2\mathrm{A} f(x_2 - x_1).$$

Cette seconde équation est non-linéaire. On trouve aisément son intégrale première et à partir de celle-ci une solution sinusoïdale approchée d'amplitude Z_m et de pulsation Q' différente de Q. La valeur de Z_m est voisine de celle du maximum de x_1 (ou x_2) sans interaction; d'autre part, Q' s'avère défini par

$$\Delta Q = Q - Q' = \frac{\mathrm{A}}{Q} \frac{a^2}{Z_m^2} \left(1 + \mathrm{Log} \frac{Z_m^2}{a^2} \right).$$

Les mouvements en x_1 et x_2 sont donc des combinaisons de deux mouvements sinusoïdaux de pulsations Q et Q'.

Une application numérique faite dans le cas de Saturne donne un repoussement vers l'inflecteur de l'un des deux faisceaux de 2 cm.

Ce résultat est en assez bon accord avec l'expérience [1].

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) G. Gendreau et al., *J. Phys. Rad.* (sous presse).

MÉTALLOGRAPHIE. — *Sur l'aptitude à la polygonisation du cuivre purifié par zone fondue.* Note (*) de M. **Jacques Le Héricy**, Mme **Françoise Bourelier** et M. **Jean Montuelle**, présentée par M. Georges Chaudron.

Grâce à la préparation de cuivre de haute pureté par la méthode de la « zone fondue flottante » (1) nous disposons, au Laboratoire de Vitry, d'une gamme d'échantillons de cuivre de pureté croissante : le cuivre O. F. H. C., le cuivre électrolytique de titre 99,999 % et enfin le cuivre purifié par zone fondue. Comme dans le cas de l'aluminium et du fer, nous nous sommes proposés d'étudier les phénomènes de polygonisation et l'influence des impuretés sur l'apparition de ce phénomène. D'autre part, le problème

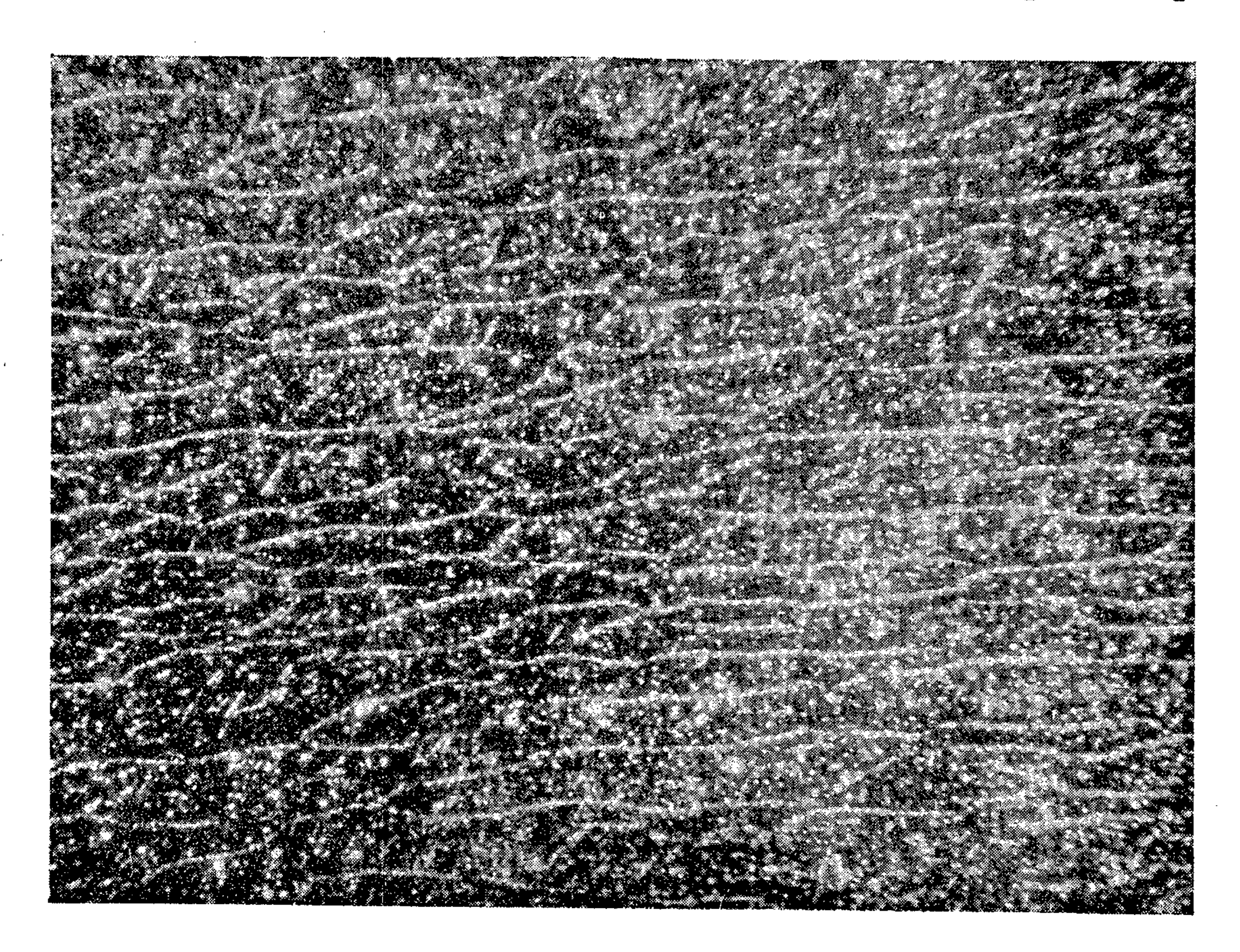


Fig. 1. — Micrographie en fond noir montrant l'aspect des sous-joints dans un cristal de cuivre de zone fondue.
Attaque par le mélange acétonitrique après sulfuration superficielle (G × 200).

de l'aptitude à la polygonisation du cuivre est actuellement assez controversé; certains auteurs ont émis l'hypothèse que cette aptitude devait être nulle ou du moins très faible. Enfin une idée, assez répandue, attribue à la présence d'impuretés un rôle accélérateur de la polygonisation du cuivre à l'inverse de ce qui se passe dans le fer ou l'aluminium.

Dans une Note antérieure (2), nous avons déjà eu l'occasion de montrer que des cristaux de cuivre électrolytique de titre 99,999 % étaient susceptibles de polygoniser au cours d'un recuit succédant à un faible écrouissage par allongement. La polygonisation ne peut pas être révélée par une attaque

chimique directe mais l'est tout à fait nettement si l'on effectue, avant cette attaque, une sulfuration superficielle à température relativement basse (500° C).

Par le même procédé, nous avons pu provoquer et révéler la polygonisation dans du cuivre de pureté très élevée, obtenu par la méthode de la « zone fondue flottante » ([1]). Ce cuivre a une pureté supérieure à celle du cuivre électrolytique 99,999 %; en effet, les rapports $\rho_H = R_{H_2}/R_{20°C}$ des résistances électriques mesurées à la température de l'hydrogène liquide et à 20° C sur un fil recristallisé de 1 mm de diamètre sont respectivement de 8.10^{-4} et de $6,2.10^{-4}$ pour le cuivre électrolytique 99,999 % et le cuivre purifié par zone fondue. Une plaquette de cuivre de zone fondue, présentant de très gros cristaux de recristallisation, a été écrouie de 1 % par allongement, puis portée à 1050° C pendant 5 h 30 mn sous vide élevé. La polygonisation provoquée par ce traitement a pu ensuite être révélée par une sulfuration superficielle par diffusion sous vide et une attaque chimique. La micrographie en fond noir montre l'aspect caractéristique de cette polygonisation.

Nous étudions actuellement à l'aide des trois puretés de cuivre citées plus haut l'influence de la pureté du métal sur la température minimale d'apparition de la sous-structure. Des expériences préliminaires nous permettent déjà de penser que le cuivre le plus pur polygonise le plus facilement; le rôle des impuretés serait donc analogue dans le cas du cuivre, du fer et de l'aluminium ([3]).

(*) Séance du 26 septembre 1960.

([1]) J. Le Héricy, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1509.

([2]) F. Bourelier et J. Montuelle, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4355.

([3]) *Colloque sur les nouvelles propriétés physiques et chimiques des métaux de très haute pureté,* Paris. 14 octobre 1959. A paraître dans les publications du Centre National de la Recherche Scientifiqne, Paris, 1960.

(*Laboratoire de Vitry du C. N. R. S.*)

Remarque au sujet de la Note précédente, par M. Georges Chaudron.

Le phénomène de polygonisation du cuivre a été souvent contesté. Certains auteurs tels que Seeger ([1]) expliquent par la théorie des dislocations l'impossibilité de formation des sous-structures dans le cuivre, l'argent ou l'or. D'autres pensent que la polygonisation du cuivre est toujours difficile ou incomplète, et qu'elle peut s'observer seulement dans le cas du cuivre impur.

P. A. Beck ([2]) admet toutefois à la suite d'expériences au moyen de la diffraction des rayons X que la sous-structure peut se former dans le cuivre, mais seulement après un recuit prolongé à une température rela-

tivement élevée (1030°). La lenteur de la polygonisation dans le cuivre serait en faveur de la théorie de Seeger.

J. Bénard et J. Oudar (3) ont obtenu par sulfuration à haute température l'apparition de la structure polygonisée dans le cas du cuivre électrolytique. (99.999 %).

Les expériences des auteurs de la Note précédente (Le Héricy, Mme Bourelier et J. Montuelle) présentent un intérêt tout particulier Les auteurs de cette Communication ont maintenant à leur disposition une gamme d'échantillons de cuivre de pureté croissante qui leur permet d'étudier pour la première fois d'une manière complète le rôle des impuretés sur l'ensemble des phénomènes d'évolution structurale de ce métal.

(1) SEEGER, *Report of the Conference on Defects in crystalline solids*, University of Bristol The Physical Society, Londres, 1956, p. 328.

(2) C. T. WEI, M. N. PARTHASARATHI et P. A. BECK, *J. appl. Phys.*, 28, 1957, p. 874.

(3) J. OUDAR et J. BÉNARD, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2191.

CHIMIE THÉORIQUE. — *Structure électronique de l'ion iminium (méthode des combinaisons linéaires d'orbitales atomiques améliorée).* Note de MM. **André Julg** et **Pierre Carles**, présentée par M. Louis de Broglie.

La méthode des combinaisons linéaires d'orbitales atomiques améliorée proposée par l'un d'entre nous ([1]) appliquée avec succès à l'étude d'hydrocarbures conjugués ([1]), ([2]), ([3]), et à celle du groupement carbonyle ([4]), est utilisée pour l'ion iminium :

$$\left[\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\!>\!C{=}N\!<\!\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right]^+$$, isoélectronique à l'éthylène.

Dans les hydrocarbures éthyléniques ou aromatiques, le déplacement des électrons le long des liaisons σ est négligeable, il semble qu'il en est de même dans le formaldéhyde ([4]). Ici au contraire à cause de la grande différence d'électronégativité entre l'atome neutre de carbone et l'atome d'azote ionisé, le déplacement des charges le long des liaisons σ n'est plus négligeable. C'est pourquoi nous avons supposé un déplacement symétrique (pour simplifier) autour de l'atome d'azote $\Delta\sigma_1$, de l'atome de carbone vers celui d'azote et des hydrogènes vers l'azote. D'autre part, l'électronégativité de l'atome de carbone dans l'ion étant différente de celle qu'il a dans un carbure éthylénique à cause de sa charge, nous avons envisagé aussi un déplacement le long des liaisons C—H : $\Delta\sigma_2$, déplacement plus faible que $\Delta\sigma_1$ et dirigé vers le carbone [effet induit ([5])].

H $\searrow_{\Delta\sigma_2}$ C $\xrightarrow[\Delta\sigma_1]{}$ N $\swarrow^{\Delta\sigma_1}$ H
H $\nearrow^{\Delta\sigma_2}$ C N $\nwarrow_{\Delta\sigma_1}$ H

Dans ces conditions nous avons choisi pour orbitales atomiques des fonctions hydrogénoïdes dont les Z effectifs correspondent aux charges des atomes, calculés d'après la règle de Slater. En fonction des deux paramètres $\Delta\sigma_1$ et $\Delta\sigma_2$, on a la relation entre les Z effectifs des atomes d'azote et de carbone :

$$Z_N + Z_C = 7{,}50 - 0{,}70\,\Delta\sigma_1 - 0{,}70\,\Delta\sigma_2.$$

Nous avons d'abord supposé $\Delta\sigma_2 = 0$. Le calcul fait alors intervenir deux paramètres indépendants Z_C et $\Delta\sigma_1$ par exemple. Nous avons pour les déterminer deux conditions nécessaires : l'égalité des intégrales de cœur I_{CN} et I_{NC} et la cohérence des Z effectifs, c'est-à-dire des charges postulées avec les charges trouvées.

Pratiquement, le calcul est conduit de la façon suivante. On se fixe le Z du carbone, on détermine le déplacement $\Delta\sigma_1$ pour que soit satisfaite la

condition $I_{CN} = I_{NC}$, d'où les charges électroniques et par conséquent la charge effective Z du carbone. En général le Z ainsi trouvé ne coïncide pas avec le Z postulé. La cohérence est obtenue par essais successifs. Pour un déplacement $\Delta\sigma_2$ différent de zéro, le processus est le même. Le tableau ci-dessous résume les valeurs trouvées dans les deux hypothèses $\Delta\sigma_2 = 0$ et $\Delta\sigma_2 = 0,05$. En l'absence de données sur la géométrie de l'ion iminium nous avons adopté une distance C—N : 1,32 Å.

	$\Delta\sigma_2 = 0$.	$\Delta\sigma_2 = 0,05$.
Z_C	3,50	3,50
Z_N	3,85	3,78
$\Delta\sigma_1$	0,21	0,26
q_π^C	0,5	0,5
q_π^N	1,5	1,5
Énergie de la transition (N→V) (eV)...	6,7	6,7

Il ressort de ces deux essais que l'introduction d'un déplacement $\Delta\sigma_2$ faible *a priori*, ne modifie pas d'une façon appréciable la valeur des charges π ni celle de l'énergie de la première transition N → V.

D'autre part, on vérifie que les électrons des liaisons σ comme ceux de la liaison π sont déplacés de l'atome de carbone vers celui d'azote plus électronégatif.

Quant à la valeur trouvée pour l'énergie de la transition N → V : 6,7 eV, elle paraît fort raisonnable. Expérimentalement, en effet, un certain nombre d'ions iminium substitués ont été étudiés en solution dans l'acétonitrile, solvant très polaire ([6]). Par comparaison entre les divers dérivés étudiés, on peut déduire que l'ion non substitué absorbe vers 6,2 eV, les substituants saturés ayant, comme sur les carbures éthyléniques, un effet bathochrome. L'écart avec la valeur calculée est d'environ 8 %. Compte tenu de l'incertitude sur la géométrie et des hypothèses faites sur les $\Delta\sigma_1$ d'une part, et d'autre part, de l'effet notable du solvant sur la position de la bande d'absorption, le résultat est satisfaisant. D'autre part, la différence d'électronégativité entre les atomes de carbone et d'azote dans cet ion étant grande, il en résulte une perturbation des orbitales atomiques entrant dans les liaisons σ ([7]) non négligeable dont un calcul plus poussé devrait tenir compte, perturbation qui modifierait certainement d'une façon appréciable l'énergie de transition.

([1]) A. Julg, *J. Chim. Phys.*, 57, 1960, p. 19.
([2]) A. Julg et Ph. François, *ibid.*, 57, 1960, p. 63.
([3]) Ph. François et A. Julg, *ibid.*, 57, 1960, p. 490.
([4]) A. Julg et M. Bonnet, *ibid.*, 57, 1960, p. 434.
([5]) A. Julg, *ibid.*, 53, 1956, p. 548.
([6]) G. Opitz, H. Helmann et H. W. Schubert, *Liebigs Ann. Chem.*, 623, 1959, p. 117.
([7]) A. Julg, *Tetrahedron* (sous presse).

CHIMIE MINÉRALE. — *Étude de la réduction par l'hydrogène du sulfate de nickel anhydre. Remarques sur une méthode possible de préparation du sous-sulfure* Ni_3S_2. Note (*) de MM. **Guy Pannetier**, **Jean-Louis Abegg** et **André Chatalic**, présentée par M. Georges Champetier.

Les auteurs ont montré que la réduction par l'hydrogène du sulfate de nickel anhydre conduit au seul sous-sulfure Ni_3S_2 pourvu que la température à laquelle se fait la réduction ne dépasse pas 340°. Dans ces conditions, la réaction évolue sans étape intermédiaire, avec une vitesse constante pour une température déterminée, suivant le schéma global :

$$3\,NiSO_4 + 10\,H_2 \rightarrow Ni_3S_2 + SO_2 + 10\,H_2O,$$

elle se produit toujours avec un certain retard dû à la nécessaire formation préalable de germes de cristallisation de sous-sulfure; les auteurs ont déduit de cette étude une méthode commode et inédite de préparation du sous-sulfure Ni_3S_2.

Bien que les produits de réduction du sulfate de nickel aient reçu des applications catalytiques variées, leur nature semble encore assez mal connue. Les travaux les plus récents sont ceux de Badger, Griffith et Newling (1). Ces auteurs, par analogie des propriétés physicochimiques de ces produits avec ceux résultant de la réduction du monosulfure supposent que la réduction du sulfate commence vers 350° suivant l'équation

$$NiSO_4 + 4\,H_2 \rightarrow NiS + 4\,H_2O.$$

Ils admettent ensuite que le monosulfure se réduit à son tour, plus lentement, en sous-sulfure; les produits qu'ils obtiennent en fin de réduction à des températures moyennes de l'ordre de 350-450° contiennent du sous-sulfure et du nickel ainsi que le révèle l'analyse aux rayons X. Quant aux travaux anciens, ils mentionnent généralement la formation de sulfures de compositions variables.

La dispersion des résultats antérieurs et le caractère peu probatoire des conclusions même récentes encourageaient à reprendre cette étude. Nous y avons apporté la collaboration de toutes les techniques les plus récentes; thermogravimétrie et enregistrement; étude des phases obtenues aux rayons X; mesures ferromagnétiques, etc., associées à l'arsenal analytique habituel et aux divers contrôles classiques.

Nous ne pouvons pas naturellement rendre compte de toutes les mesures effectuées; celles-ci feront l'objet d'un Mémoire plus détaillé. Nous allons simplement nous contenter d'indiquer quels sont les principaux résultats obtenus.

La réduction du sulfate anhydre est en réalité un phénomène simple tant que la température ne dépasse pas 340°. A partir de ce point, l'équilibre (A)

$$\text{(A)} \qquad Ni_3S_2 + 2\,H_2 \rightleftharpoons 3\,Ni + 2\,SH_2$$

commence à se manifester; si on laisse donc du sous-sulfure en présence d'hydrogène au-dessus de cette température, il se formera du nickel au détriment de Ni_3S_2 et le produit obtenu contiendra au bout d'un certain temps un mélange de nickel et de Ni_3S_2; le pourcentage de nickel dans la phase ainsi obtenue sera d'autant plus notable que la température à laquelle la réduction est faite, sera plus élevée et que l'échantillon de sous-sulfure sera resté plus longtemps en contact avec l'hydrogène. C'est ce qui se produisait dans la préparation des catalyseurs de désulfuration de Griffith et Plant ([2]), réduction toujours effectuée au-dessus de 400°.

Par contre, il n'avait jamais été indiqué que la réduction du sulfate par l'hydrogène pouvait se faire à une température inférieure à 350°. En réalité nous avons pu l'observer jusqu'à des températures de 300°; dans ce cas la réduction ne se produit pas immédiatement mais avec un retard variable, d'autant plus important — plusieurs heures aux températures les plus basses où nous avons opéré — que la température à laquelle se fait la réaction est plus éloignée de 350°. Un tel temps d'induction à la réaction est caractéristique du procédé de germination. On ne peut pas, certes, mesurer directement la vitesse de germination, mais l'inverse du temps d'induction $1/t$ lui est proportionnel et si la réduction de $NiSO_4$ en Ni_3S_2 se fait par germination, nous devons trouver une variation « en cloche » de $1/t$ en fonction de la température. C'est bien ce que nous avons vérifié. Les enregistrements, masse, fonction du temps, montrent — ce que nous développerons dans un Mémoire ultérieur — que cette réduction qui se fait à vitesse pratiquement constante est d'ordre zéro par rapport au sulfate de nickel ainsi que par rapport au sous-sulfure. Ceci permet de mesurer l'énergie d'activation de la réaction globale (B) :

$$\text{(B)} \qquad 3\,NiSO_4 + 10\,H_2 \rightarrow Ni_3S_2 + SO_2 + 10\,H_2O$$

elle est de 18,6 kcal par mole de $NiSO_4$.

Nous avons trouvé, d'autre part, que la transformation du sulfate en sous-sulfure est directe; on ne passe pas par NiS comme l'avait laissé supposer Griffith, Badger et Newling ([1]). Nous avons en effet, d'une part directement vérifié que la réduction de NiS par l'hydrogène était pour une température déterminée un processus beaucoup plus lent que celui de la réduction du sulfate à la même température. D'autre part, l'enregistrement des variations de masse ne révèle qu'un processus unique et non deux processus concomitants, ce qui se serait traduit par un changement de pente de la courbe des variations de masse en fonction du temps pendant la réduction.

De cette étude résulte une méthode fort simple de préparation du sous-sulfure Ni_3S_2. Jusqu'ici ce dernier pouvait être préparé : 1° soit par synthèse ([3]), ([4]) à partir des éléments par chauffage en tube scellé; 2° soit par réduction du monosulfure NiS par l'hydrogène ([5]); 3° soit par sulfu-

ration du nickel finement divisé par l'hydrogène sulfuré ou par le sulfure de carbone (6).

Or, nous venons d'indiquer qu'il résulte de l'étude de la réduction du sulfate anhydre par l'hydrogène qu'entre 300 et 340° cette réaction ne conduit qu'au sous-sulfure alors qu'au-dessus de 350° elle donne — ce qu'on savait déjà (1) — un mélange de nickel-métal et de sous-sulfure. Il suffira donc d'effectuer cette réduction dans un four à température contrôlée, fixée par exemple à 325° en attendant un temps suffisant pour que les germes d'amorçage de la réduction aient le temps de se former et de grossir. Une douzaine d'heures à cette température sont largement suffisantes quelle que soit la masse de sulfate anhydre mise en cause.

Pour obtenir le sulfate anhydre on peut partir du sulfate commercial heptahydraté; nous avons fait l'étude de la déshydratation à la pression atmosphérique dans divers courants gazeux léchant l'échantillon. Dans l'azote aucune précaution n'est à prendre pourvu qu'on ne dépasse pas 750°; le sulfate peut être commodément obtenu anhydre par chauffage à 325° pendant une douzaine d'heures. Par contre, dans l'hydrogène les phénomènes sont beaucoup plus compliqués. Tant qu'on ne dépasse pas 275° la déshydratation conduit uniquement au sulfate anhydre; le phénomène est assez lent : il faut une quinzaine d'heures environ pour être certain qu'il soit total. Au-dessus de cette température l'action simultanée de l'hydrogène et de la vapeur d'eau de l'hydrate transforme partiellement cet hydrate en un autre composé que $NiSO_4$; la réduction de l'ensemble conduit à un mélange de nickel-métal et de sous-sulfure; ce dernier peut être très concentré en nickel.

La préparation du sous-sulfure Ni_3S_2 par le procédé que nous indiquons plus haut exige donc qu'on sépare bien la phase déshydratation de la phase réduction; la première doit être totalement terminée avant que ne commence la seconde qui ne doit en aucun cas être faite à une température supérieure à 340°. Au-dessus de cette température apparaît la phase nickel-métal dont la présence même infime peut être commodément contrôlée par un net ferromagnétisme de l'échantillon. Le sous-sulfure pur en est exempt; c'est un moyen très sensible de contrôler si la réduction s'est bien faite.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) E. H. M. Badger, R. H. Griffith et W. B. S. Newling, *Proc. Roy. Soc.*, 197 A, 1949, p. 184.

(2) R. H. Griffith et J. H. G. Plant, Gas. Light and Coke Co, Londres : Brevets anglais n° 489.398, 1938 et n° 529.711, 1940; Brevet américain U. S. 2.295.653, 1943.

(3) H. Fincke, *Metallbörse*, 17, 1928, p. 2637.

(4) J. P. Podolsky et N. M. Zarubin, *Vestrik Metalloprozr*, 11, 1931, p. 57.

(5) E. V. Evans et H. Stanier, *Proc. Roy. Soc.*, (A), 105, 1924, p. 624.

(6) R. H. Griffith et S. G. Hill, *J. Chem. Soc.*, 1938, p. 717-720.

(*Laboratoire de Chimie générale,*
Centre d'Orsay, Faculté des Sciences, Paris.)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Spectres ultraviolets d'une série de bases hétérocycliques et de leurs sels d'ammonium quaternaires. Influence du milieu.* Note (*) de Mme **Yvette Maroni-Barnaud** et MM. **Henri Wahl** et **Pierre Maroni**, présentée par M. Marcel Delépine.

Étude comparative dans divers milieux des spectres d'absorption du méthylbenzothiazole, méthylbenzoxazole, méthylbenzosélénazole, diméthylbenzimidazole, triméthylindolénine et des sels correspondants.

H. Wahl et ses collaborateurs [1], [2] ont montré que les sels quaternaires dérivés d'une série de bases hétérocycliques du type I [X = O, S, Se, N (CH_3), C $(CH_3)_2$] se condensent facilement avec des sels de diazonium pour former, suivant la nature de X et les conditions opératoires, soit un colorant monoazoïque, soit un colorant disazoïque, soit un mélange de ces deux composés. En vue d'une étude cinétique destinée à élucider le ou les mécanismes de ces copulations, il est nécessaire en premier lieu de définir l'espèce chimique réagissante. On admet généralement [3], [4] que celle-ci est la base méthylène (B) formée à partir du sel quaternaire (A) suivant un processus d'équilibre « acide-base ». Le composé C n'a cependant pas été caractérisé jusqu'ici et il est possible que B se forme à partir de A par la simple élimination d'un proton sans passer par le stade C.

Pour tenter de préciser les conditions de ces transformations, nous avons examiné les spectres d'absorption ultraviolets dans l'alcool éthylique à 96 %, l'acide sulfurique aqueux N/10 et la soude aqueuse N/10, pour un ensemble de méthylsulfates dans lesquels R = CH_3 et X = O, S, Se, N (CH_3) et C $(CH_3)_2$. Nous les avons comparés aux spectres des bases hétérocycliques correspondantes mesurées dans les mêmes conditions. Nos résultats fournissent un certain nombre de renseignements que nous résumons brièvement tandis que l'étude détaillée de nos courbes, leur comparaison avec les données de la littérature et leur interprétation seront publiées par ailleurs.

1. SPECTRES DES BASES HÉTÉROCYCLIQUES. — *Dans l'alcool*, à l'exception de la triméthyl-2.3.3 indolénine, elles présentent trois régions d'absorption déjà signalées par d'autres auteurs ([5]) et de plus en plus déplacées vers le rouge lorsque X passe de O à N (CH_3), S, Se (tableau).

Maximum d'absorption (λ_{max} en mμ).

Bases hétérocycliques (*) dans :

X.	l'alcool. I.			l'alcool. II.	l'alcool. III.	l'acide.			Sels quaternaires (*) dans l'acide		
O	276	270	263,5	231	—	Ouverture du cycle					
$N(CH_3)$	281	274,5	—	249	—	275,2	269	240	277	270	250
S	293	282,5	—	251,5	218	—	270	236	275	—	236
Se	300	291	—	258 (**)	225	272	240,5	—	277	—	241
$C(CH_3)_2$	—	—	—	256,5	—	275	230	—	274,5	—	231

(*) Solution : 10^{-4} M.
(**) Épaulement.

Entre 260 et 300 mμ le premier groupe de bandes (I) offre la structure vibrationnelle caractéristique des transitions benzéniques de type B_{2u}.

La deuxième bande (II) passant de 230 à 260 mμ est de moins en moins accentuée et ne constitue plus qu'un épaulement sur le spectre du méthyl-2 benzosélénazole.

Elle est alors partiellement recouverte par un troisième maximum nettement dégagé à 225 mμ. Un maximum analogue demeure visible à 218 mμ dans le méthyl-2 benzothiazole, mais n'apparaît plus qu'à l'état d'amorce dans les deux autres bases examinées.

Sur la courbe de la triméthyl-2.3.3 indolénine, qui n'a pas d'hétéroatome X, la structure fine a disparu et l'on ne trouve plus qu'une unique et large bande ($\lambda_{max} = 256{,}5$ mμ) déjà mentionnée par P. Grammaticakis ([6]).

Dans la soude, les spectres sont pratiquement identiques à ceux observés dans l'alcool.

Dans l'acide, au contraire, ils deviennent très différents, à l'exception de celui du diméthyl-2.3 benzimidazole qui ne subit qu'un léger déplacement hypsochrome (6 à 9 mμ).

L'hétérocycle du méthyl-2 benzoxazole s'ouvre progressivement : en mesurant l'absorption à des intervalles réguliers pendant 24 h on obtient un réseau de courbes à points isosbestiques bien définis et le spectre final est superposable à celui de l'orthoacétylaminophénol dans le même milieu.

Quant aux autres bases, elles donnent trois courbes analogues présentant deux maximums, le premier entre 270 et 275 mμ, le second entre 230 et 240 mμ (tableau).

2. SPECTRES DES SELS QUATERNAIRES. — *Dans l'alcool comme dans l'acide*, ils sont très analogues à ceux des bases correspondantes dans l'acide.

Le méthylsulfate de diméthyl-1.2 benzoxazolium s'ouvre instantanément, même dans l'alcool absolu et l'on obtient le spectre de l'ortho-acétylaminophénol. C'est seulement dans l'acide acétique que nous avons retrouvé la structure fine ($\lambda_{max} = 275$ et 269 mμ) paraissant caractéristique de la molécule hétérocyclique non dissociée.

Les valeurs de λ_{max} pour les quatre autres sels sont rassemblées dans le tableau ci-dessus. En les comparant aux longueurs d'onde des bases homologues on peut déterminer l'effet du substituant méthyle introduit sur l'azote 1.

Celui-ci exerce un effet bathochrome :

— de 5 mμ sur la bande de grande longueur d'onde des sels de thiazole et de sélénazole;

— de 10 mμ sur la troisième bande du sel d'imidazole, mais laisse pratiquement inchangée la position des autres maximums.

Dans la soude, les sels quaternaires se comportent de manière très variée. Celui de l'oxazole subit la réaction d'ouverture conduisant ici à l'ion phénolate, tandis que celui du benzimidazole reste d'une insensibilité totale à l'effet du milieu.

Le dérivé de l'indolénine donne un spectre à deux bandes (λ_{max} 242 et 282 mμ) tandis que ceux du sélénazole et du thiazole font apparaître un seul maximum très intense à 271 et 267,5 mμ respectivement.

Nous avons vérifié que dans ce dernier cas, le spectre est identique à celui que donne, dans le même milieu, la méthyl-1, méthylène-2 benzothiazoline (base « méthylène »), isolée sous forme de dimère cristallisé [7]. Cette même base méthylène, en milieu acide, fournit un spectre identique à celui du sel quaternaire correspondant, ce qui montre que la transformation « acide-base » envisagée, est réversible dans les conditions ci-dessus.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 631; 235, 1952, p. 1405; 235, 1953, p. 294; 240, 1955, p. 983; 242, 1956, p. 913.

(2) *Bull. Soc. Chim.*, 1954, p. 248, 251 et 587; 1959, p. 343.

(3) L. G. S. BROOKER et R. H. SPRAGUE, *J. Amer. Chem. Soc.*, 67, 1945, p. 1869.

(4) F. M. HAMER, R. J. RATHBONE et B. S. WINTON, *J. Chem. Soc.*, 1947, p. 954.

(5) R. PASSERINI et coll., *Gazz. Chim. Ital.*, 85, 1955, p. 769; *J. Chem. Soc.*, 1954, p. 2256 et 2261.

(6) *Comptes rendus*, 210, 1940, p. 569.

(7) O. MUMM, H. HINZ et J. DIEDRICHSEN, *Ber. dtsch. Chem. Ges.*, 72, 1939, p. 2107.

(*École Nationale Supérieure des Industries chimiques, 1, rue Grandville, Nancy.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Remarques sur la préparation et l'absorption dans l'ultraviolet moyen de quelques* N-(*o-carboxy-benzoyl*)-*arylamines et* N-*arylphtalimides*. Note (*) de M. **Panos Grammaticakis**, présentée par M. Marcel Delépine.

Poursuivant des recherches physiques et chimiques systématiques sur les aroyl-arylamines (1) j'ai été conduit à étudier l'absorption dans l'ultraviolet moyen et le visible des N-(*o*-carboxy-benzoyl)-arylamines (ou N-aryl-*o*-carboxybenzamides) (A) et des N-aryl-phtalimides correspondantes (B)

φ —CO.NH.Ar —CO.OH (A)

φ —CO —CO >N.Ar (B)

La présente Note contient quelques résultats concernant la préparation et l'absorption (2) des N-aryl-*o*-carboxybenzamides où aryle = *phényle* [F 179°, 199°; (3) feuillets (4)], *tolyle : ortho* (F 173°, 207°; aig.), *méta* (F 170°, 188°; feuillets) et *para* (F 169°, 185°; aig. fines), *diméthyl*-2.6 *phényle* (F 199°, 235°; aig.), *triméthyl*-2.4.6 *phényle* (F 220°, 248°; aig.), *chlorophényle : ortho* (F 155°, 168°; feuillets), *méta* (F 197°, 212°; feuillets) et *para* (F 215°, 228°; feuillets) et *nitrophényle : ortho* (F 148°, 195°; aig. jaune-vertes), *méta* (F 230°, 245°; aig.) et *para* (F 227°, 243°; aig.) ainsi que la préparation et l'absorption des N-arylphtalimides où aryle = *phényle* (F 208°; aig.), *tolyle : ortho* (F 185°; petits prismes), *méta* (F 174°; feuillets) et *para* (F 205°; aig.), *diméthyl*-2.6 *phényle* (F 206°; feuillets), *triméthyl*-2.4.6 *phényle* (F 182°; petites aig.), *chlorophényle : ortho* (F 144°; petites aig.), *méta* (F 165°; aig. fines) et *para* (F 198°; aig. cotonneuses) et *nitrophényle : ortho* (F 204°; prismes), *méta* (F 245°; aig.) et *para* (F 266°; aig. fines).

Les N-aryl-*o*-carboxybenzamides ont été préparées par traitement à chaud des arylamines (1 mol) avec l'anhydride phtalique (1 mol) en milieu benzénique (Rdt théorique). Elles ont été purifiées par cristallisation dans le benzène.

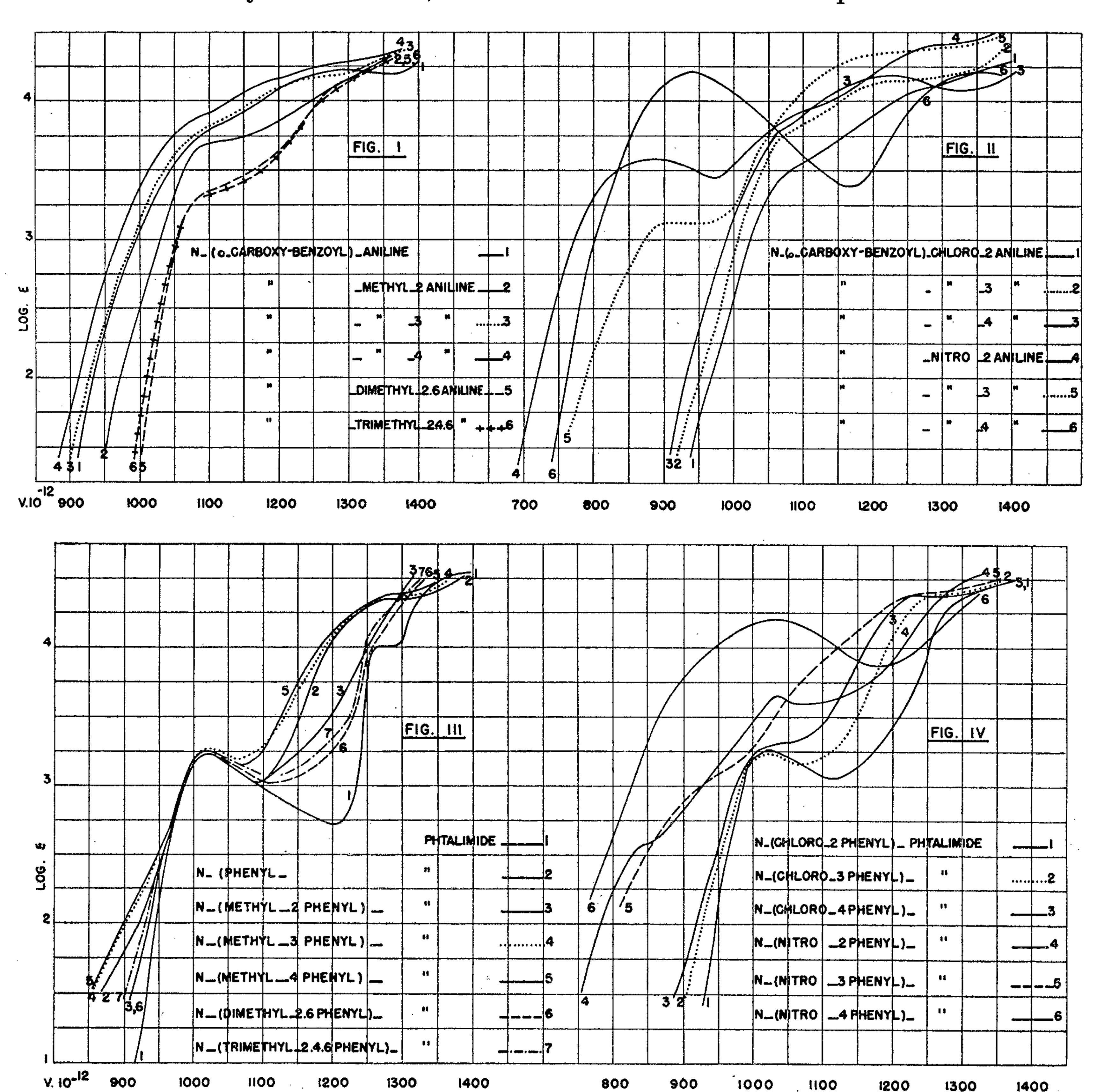
Les N-arylphtalimides ont été obtenues, comme les 1-oxo-2-aryl-dihydro (1.2)-phénotriazines, par chauffage plus ou moins long des solutions dans l'alcool à 95 % des N-aryl-*o*-carboxybenzamides correspondantes. Elles ont été purifiées par cristallisation dans l'alcool à 95 %. La présence des substituants (alcoyle, halogène, nitro) en ortho sur le phényle de la N-phényl-*o*-carboxybenzamide ralentit beaucoup sa transformation en dérivé phtalimidique, l'influence de ces mêmes substituants en méta et para étant beaucoup moins importante (effet ortho stérique) (5).

Tandis que les N-aryl-*o*-carboxybenzamides sont, comme l'acide anthranilique et ses dérivés N-substitués, thermolabiles (différence plus ou

moins grande entre les F lent et inst. indiquant des températures de décomposition, etc.), les N-arylphtalimides sont, dans les mêmes conditions, thermostables (F lent et inst. identiques, etc.), en accord avec ce qu'on constate dans des cas analogues.

L'examen des courbes d'absorption des substances étudiées montre que :

1° L'*o*-carboxylation du C_6H_5.CO— de la benzanilide produit des modifications spectrales analogues à celles constatées pour la N-formylation et la N-acétylation de l'aniline et, dans une certaine mesure, analogues à celles observées pour l'*o*-carboxylation du C_6H_5.NH— de la benzanilide (diminution de l'intensité de la bande A la plus proche du visible plus ou moins masquée par la bande principale suivante B fortement déplacée vers le visible) (*fig.* 1).



2° Le remplacement du C_6H_5.NH— dans l'*o*-carboxy-benzanilide par ses différents dérivés C— et N— substitués se traduit par des changements spectraux analogues à ceux observés dans le cas de la benzanilide (effet

spectral ortho anormal, etc.); en d'autres termes, l'*o*-carboxylation du C_6H_5.CO— des N-benzoyl-arylamines ne modifie pas leurs principales relations spectrales qualitatives, en accord avec ce qu'on constate pour toutes les substitutions effectuées sur le C_6H_5.CO— de toutes les N-benzoyl-arylamines et de tous les dérivés N-benzoylés des composés iso- et hétérocycliques étudiés jusqu'ici (*fig.* 1 et 2).

3° La N-phénylation de la phtalimide, dont le spectre présente une certaine analogie avec celui de l'*o*-amino- et *o*-hydroxybenzoïque, se traduit par une augmentation très importante de l'intensité de la bande B (inflexion : $\nu.10^{-12} \sim 1270$) sans changement sensible de la bande A ($\nu.10^{-12} \sim 1020$) (*fig.* 3).

4° Le remplacement du C_6H_5.N= de la phtalimide par ses différents dérivés C— substitués (méthylé, chloré, nitro, etc.) produit des modifications spectrales analogues à celles indiquées ci-dessus pour le remplacement du C_6H_5.NH— de l'*o*-carboxybenzanilide. Mais, les écarts entre les bandes A des N-arylphtalimides sont, en général, plus faibles que ceux entre les bandes A des N-aryl-*o*-carboxybenzamides correspondantes; la bande A de la N-phénylphtalimide ne change pas pratiquement lorsqu'on effectue sur le phényle différentes substitutions transparentes (alcoyle, halogène, etc.) (*fig.* 3 et 4) ([6]).

Les principales relations spectrales qualitatives entre toutes les substances étudiées ici sont en accord avec le principe de l'invariance de la physionomie spectrale ultraviolette ([7]) des noyaux benzénique et spectralement benzénoïdes quelque soit le composé (iso- ou hétérocyclique, etc.) dans lequel ils sont engagés.

Il est à noter que l'absorption des N-aryl-*o*-carboxybenzamides et N-arylphtalimides est, en général, voisine de celle de leurs dérivés par substitution au —CO.C_6H_4.CO— du —CO.CH : CH.CO— (recherches inédites).

Enfin, les différences spectrales entre les N-aryl-*o*-carboxybenzamides et les N-arylphtalimides correspondantes peuvent être mises en corrélation avec certaines différences de leur comportement chimique. Elles peuvent, en outre, être utilisées pour l'identification de ces composés.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 248, p. 244; *Bull. Soc. Chim.*, 1959, p. 1559 et Mémoire sous presse.

([2]) Dans l'alcool à 95 % et aux concentrations, en général, N/1000 et N/10 000.

([3]) Le premier nombre après le F indique le F lent et le second, s'il existe le F instantané sur le bloc Maquenne. Le F lent des N-aryl-*o*-carboxy-benzamides, substances thermolabiles, est beaucoup moins précis que leur F instantané. L'analyse élémentaire (C, H, O, N) de toutes les substances étudiées est en accord avec leur formule élémentaire.

([4]) Tous les composés étudiés sont incolores, sauf mention explicite du contraire.

([5]) L'étude du mécanisme de cette réaction est en cours.

([6]) Les parties des branches ascendantes A des N-arylphtalimides correspondant à des log ε inférieurs à 2,5 peuvent, dans certains cas, être attribuées à des impuretés formées au cours de la mesure de ces composés (décomposition en arylamine et anhydride phtalique, etc.). L'étude de cette question est en cours.

([7]) Déterminée par l'ensemble des principales relations spectrales qualitatives entre le benzène et ses dérivés spectralement fondamentaux.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'utilisation du chlorure de β-cyano β, β-diphénylpropionyle comme réactif de la fonction alcool.* Note (*) de M. **François Salmon-Legagneur** et Mme **Cécile Neveu**, présentée par M. Marcel Delépine.

Le chlorure de β-cyano β,β-diphénylpropionyle cristallisé (F 98-98° 5) peut être envisagé comme réactif de caractérisation de la fonction alcool dans le cas des alcools primaires ou secondaires, aliphatiques saturés, aromatiques ou cyclaniques et éventuellement des glycols.

Le chlorure de β-cyano β, β-diphénylpropionyle

$$(C_6H_5)_2C(CN)-CH_2-COCl$$

qui n'est autre que le chlorure de l'α-mononitrile α, α-diphénylsuccinique avait déjà été utilisé par l'un d'entre nous, sans toutefois à l'époque avoir été isolé à l'état pur, comme produit intermédiaire pour la préparation de plusieurs dérivés fonctionnels de l'acide α, α-diphénylsuccinique :

$$(C_6H_5)_2C(CO_2H)-CH_2-CO_2H \quad (^1),\ (^2),\ (^3).$$

Le diphénylacétonitrile, matière première de préparation du mononitrile et de l'acide α, α-diphénylsuccinique, étant devenu depuis quelque temps un produit commercial, nous avons pensé que ce chlorure, qui peut maintenant être facilement et économiquement accessible sous forme pure, serait alors susceptible d'être utilisé pour caractériser la fonction alcool. En effet, les deux esters méthylique et éthylique α-nitrile α, α-diphénylsucciniques, déjà connus, sont tous deux parfaitement cristallisés, le premier fondant à 79-80°, le second à 103-105° (1), (3). Il devait être ainsi probable que la plupart des alcools donneraient également des esters cristallisés avec ce chlorure qui pourrait alors s'ajouter à la liste déjà longue des réactifs du groupe hydroxyle.

Dans un Mémoire tout récent l'un d'entre nous (4) a indiqué la préparation du chlorure de β-cyano β, β-diphénylpropionyle à l'état pur et sous forme stable de telle façon qu'il puisse être utilisé d'une manière pratique. Pour cela on traite l'α-mononitrile α,α-diphénylsuccinique de F 183-184° (3) par deux fois son volume de chlorure de thionyle

$$(C_6H_5)_2C(CN)-CH_2-CO_2H \xrightarrow{+SOCl_2} (C_6H_5)_2C(CN)-CH_2-COCl.$$

Après évaporation au bain-marie de l'excès de $SOCl_2$ le produit de la réaction se prend en masse; il est alors lavé avec du benzène et recristallisé dans un mélange d'éther anhydre et d'éther de pétrole sous forme de fines aiguilles blanches de F 98-98°,5. Celles-ci sont particulièrement stables, puisqu'au bout de plus d'une année leur point de fusion n'avait prati-

quement pas varié, bien que nous n'ayons pris aucune précaution spéciale pour l'obturation du flacon dans lequel nous les avions conservées.

Pour utiliser ce chlorure comme réactif de la fonction alcool suivant :

$$(C_6H_5)_2C(CN)-CH_2-COCl \xrightarrow{+ROH} (C_6H_5)_2C(CN)-CH_2-CO_2R + ClH$$

on peut procéder comme suit :

Le chlorure est chauffé directement (ou en milieu dioxannique) une dizaine de minutes, à la température d'un bain-marie, avec un léger excès de l'alcool à caractériser. Il est préférable dans la plupart des cas d'utiliser un léger surplus d'alcool plutôt que l'inverse. L'excès de chlorure qui n'aurait pas réagi est éliminé par lavage à froid d'une solution de soude à 10 % (de laquelle on peut d'ailleurs récupérer l'acide nitrile par acidification). L'excès d'alcool s'élimine soit par évaporation, soit par lavage à l'eau ou par distillation. Dans le cas d'alcools peu volatils on a avantage à opérer en quantités équimoléculaires, quitte à prolonger ou à élever un peu le chauffage. Il est à noter que l'addition d'une goutte de pyridine peut parfois, mais pas toujours, favoriser la réaction notamment dans le cas des alcools secondaires.

Le produit de la réaction débarrassé des excès des substances de départ ne tarde pas la plupart du temps à cristalliser. Cependant dans certains cas, spécialement dans ceux ou le dérivé obtenu a un point de fusion bas, la cristallisation peut demander plusieurs jours avant de se manifester.

Une fois la prise en masse réalisée l'ester β-cyano β,β-diphénylpropionique obtenu est alors recristallisé dans l'alcool éthylique plus ou moins dilué et montre le plus souvent un point de fusion particulièrement net.

La plupart des alcools primaires que nous avons essayés nous ont donné aisément des dérivés cristallisés. Notons cependant que nous n'avons obtenu avec certains alcools à longue chaîne, tel l'alcool laurique de F 24°, que des dérivés fondant nettement plus bas que les alcools de départ.

Tous les alcools secondaires que nous avons essayés nous ont donné également des résultats positifs; par contre ceux-ci ont été jusqu'à maintenant négatifs dans le cas d'alcools tertiaires (alcool butylique tertiaire) ou d'alcools à double ou triple liaison (alcools cinnamique et propargylique).

En ce qui concerne les glycols : l'hexanediol-1.6 et le diphényl-2.2 pentanediol-1.5 n'ont donné jusqu'à présent que des produits huileux sans doute constitués par des mélanges. Par contre avec le glycol ordinaire (éthanediol-1.2) et le décanediol-1.10 nous avons isolé deux dérivés cristallisés l'un correspondant à un mono β-cyano β,β-diphénylpropionate et l'autre au diester.

On trouvera ci-dessous la liste de tous les alcools qui nous ont donné des résultats positifs ainsi que les points de fusion des dérivés cristallisés obtenus. Il est à noter qu'il est très facile et très rapide de vérifier que le produit isolé correspond bien à la structure attendue, puisqu'il suffit d'effectuer sur celui-ci un simple microkjeldahl pour constater si le pourcentage d'azote est conforme ou non.

Alcools primaires.	Formule du β-cyano β,β-diphénylpropionate.	F(°C).
CH_3OH	$C_{17}H_{15}O_2N$	79 — 80 (³)
C_2H_5OH	$C_{18}H_{17}O_2N$	103 — 105 (¹), (³)
$n.C_3H_7OH$	$C_{19}H_{19}O_2N$	62
$n.C_4H_9OH$	$C_{20}H_{21}O_2N$	40
$(CH_3)_2CH—CH_2OH$	$C_{20}H_{21}O_2N$	58 — 59
$CH_3—(CH_2)_3—CH_2OH$	$C_{21}H_{23}O_2N$	35 — 37
$(CH_3)_2CH—CH_2—CH_2OH$	$C_{21}H_{23}O_2N$	46 — 47
$CH_3—(CH_2)_5—CH_2OH$	$C_{23}H_{27}O_2N$	33 — 34
$CH_3—(CH_2)_6—CH_2OH$	$C_{24}H_{29}O_2N$	53
$CH_3—(CH_2)_{10}—CH_2OH$ (F 24°)	$C_{28}H_{37}O_2N$	9 — 11
$C_6H_5—CH_2OH$	$C_{23}H_{19}O_2N$	48
$C_6H_5—CH_2—CH_2OH$	$C_{24}H_{21}O^2N$	95
Alcool tétrohydro furfurylique	$C_{21}H_{21}O_3N$	66
Alcools secondaires.		
$CH_3—CHOH—CH_3$	$C_{19}H_{19}O_2N$	57
$CH_3—CH_2—CHOH—CH_3$	$C_{20}H_{21}O_2N$	53
Cyclohexanol	$C_{22}H_{23}O_2N$	116
Glycols.		
Éthanediol-1-2, Monoester	$C_{18}H_{17}O_3N$	57
Éthanediol-1-2, Diester	$C_{34}H_{28}O_4N_2$	151
Décanediol-1-10, Monoester	$C_{26}H_{33}O_3N$	90
Décanediol-1-10, Diester	$C_{42}H_{44}O_4N_2$	102

En résumé nous pensons que le chlorure de β-cyano β,β-diphénylpropionyle est susceptible d'être utilisé comme réactif de la fonction alcool dans le cas des alcools primaires ou secondaires aliphatiques, aromatiques ou cyclaniques et éventuellement des glycols.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(¹) F. Salmon-Legagneur, *Comptes rendus*, 208, 1939, p. 1057.

(²) F. Salmon-Legagneur et F. Soudan, *Comptes rendus*, 218, 1944, p. 681.

(³) F. Salmon-Legagneur, *Bull. Soc. Chim.*, 1952, p. 580.

(⁴) F. Salmon-Legagneur et Mlle Fr. Salmon-Legagneur, *Bull. Soc. Chim.*, 1960 (sous presse) (Mémoire déposé le 14 septembre 1960).

(*Laboratoire de Chimie générale de la Faculté des Sciences et de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes.*)

RADIOCRISTALLOGRAPHIE. — *Étude de la structure cristalline du bichlorhydrate d'isoniazide.* Note de Mlle **Danita Kupfer**, présentée par M. Jean Wyart.

En faisant cristalliser l'isoniazide en présence de HCl, on obtient deux formes de cristaux :

1° Par recristallisation à chaud dans l'alcool d'une solution chlorhydrique aqueuse : plaquettes épaisses dont l'étude donnera lieu à une publication ultérieure.

2° Par évaporation lente à 30°C d'une solution chlorhydrique aqueuse : plaquettes allongées ou aiguilles, dont l'étude radiocristallographique conduit aux résultats suivants :

— Paramètres de la maille :

$$a = 11,50 \pm 0,04 \text{ Å}, \quad b = 11,97 \pm 0,04 \text{ Å},$$
$$c = 4,40 \pm 0,03 \text{ Å}, \quad \beta = 97^\circ \pm 0{,}^\circ 5;$$

densité théorique : 1,55 g/ml; densité expérimentale : 1,56 g/ml; nombre de molécules par maille : 4; groupe de recouvrement $P\,2_1/n$.

La structure de cette forme a été complètement déterminée sur les projections parallèlement à $\vec{c}$ et à $\vec{a}$. Nous avons appliqué la méthode de l'atome lourd. Pour la projection suivant $\vec{c}$, quatre calculs de facteurs de structure et quatre calculs de densité électronique ont permis d'abaisser le coefficient R à 0,30; l'affinement a été poursuivi par la méthode des moindres carrés sur la calculatrice IBM 704; on a alors obtenu R = 0,20. Sur le dernier diagramme de densité électronique tous les atomes sont clairement résolus.

L'étude de la projection suivant $\vec{a}$ s'est révélée difficile à cause des multiples superpositions; néanmoins, en appliquant la méthode de l'atome lourd, et en tenant compte des considérations spatiales, on a construit un modèle qui a été confirmé par un calcul de facteurs de structure. Les coordonnées z ont été améliorées par la méthode des moindres carrés appliquée aux réflexions $hk\,1$ et $hk\,2$.

Les coordonnées obtenues sont :

	x.	y.	z.		x.	y.	z.
Cl_1	0,478	0,123	0,075	C_1	0,169	0,475	0,101
Cl_2	0,206	0,222	0,146	C_2	0,225	0,416	0,965
N_1	0,210	0,547	0,076	C_3	0,322	0,436	0,822
N_2	0,378	0,303	0,798	C_4	0,357	0,505	0,790
N_3	0,433	0,247	0,602	C_5	0,304	0,562	0,942
O	0,455	0,391	0,464	C_6	0,382	0,374	0,672

La détermination de cette structure présente les intérêts particuliers suivants :

1. L'isoniazide a une activité bactériostatique et bactéricide vis-à-vis du bacille de Koch qui en fait l'une des drogues antituberculeuses les plus utilisées en thérapeutique. Son action serait due à la formation d'un complexe cuivrique de formule

Cu
O NH$_2$
C=N
N

Or, l'isoniazide existe sous deux formes tautomères (figures ci-dessous).

N3H$_2$.HCl$_2$ / N2H / O / C6 / N1 / HCl1 (I)

N3H$_2$.HCl$_2$ / N2 / HO / C6 / N1 / HCl1 (II)

Seule la forme (II) permet la formation d'un tel complexe. La mesure précise des distances C6—O et C6—N2 permettra de déterminer le pourcentage de chacune des deux formes tautomères.

Bien que les distances interatomiques ne seront connues avec précision qu'après l'affinement complet à trois dimensions, les résultats acquis montrent que le groupe CO—NH—NH$_2$ est approximativement plan et peu incliné par rapport au noyau pyridinique, fait qui favorise l'échange des doubles liaisons entre les formes (I) et (II).

2. Si nous considérons les liaisons ioniques et les liaisons « hydrogène » N..H..Cl, nous remarquons que la structure contient un N pyridinique de coordinence 1 et un N hydrazinique de coordinence 3; ces faits posent le problème de la distribution des liaisons N—Cl et de la coordinence des atomes de chlore, dans le cristal. Les résultats obtenus montrent que :

— Cl1 est lié à un atome d'azote pyridinique N1 et à un atome d'azote hydrazinique N3;

— Cl2 est lié à deux atomes d'azote hydraziniques N3.

Nous notons que bien que les deux atomes de chlore ne jouent pas le même rôle dans la structure, ils ont tous les deux une coordinence égale à 2.

(*Laboratoire de Cristallographie Appliquée, Bellevue.*)

GÉOLOGIE. — *De la genèse de certaines dolomies.* Note de M. **Jean Ricour**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Dans un Mémoire, publié en 1958, N. M. Strakhov [1] a défini les conditions qui, au cours des temps géologiques, ont présidé à la formation des dolomies. Il admet que certaines d'entre elles, qu'il appelle « dolomies stratifiées », caractérisées par leur vaste extension, leur composition chimique invariable qui répond à celle des dolomies typiques, leur structure microgrenue et l'absence ou la rareté des restes organiques, ont pu se former par précipitation directe dans des eaux sursalées. Cette concentration importante du milieu de dépôt est prouvée par la présence fréquente de cristaux d'anhydrite isolés dans la masse de la roche. Certaines dolomies du Trias français telle que la Dolomie moellon du Keuper moyen ou les bancs dolomitiques isolés au sein des niveaux salifères présentent les caractères retenus par Strakhov pour définir les « dolomies stratifiées ».

Strakhov pense, d'autre part, que les dolomies ne se forment plus à l'heure actuelle dans les mers, sauf en de très rares cas, alors qu'elles sont connues en masse énorme dans les couches marines fossiles et particulièrement dans les terrains paléozoïques. L'auteur croit avoir trouvé l'explication de ce contraste dans les conditions de pression de CO_2 obtenues au cours de certaines expériences de synthèse de la dolomie. Rappelons que des essais de synthèse ont été réalisés soit par processus physicochimique, soit en faisant intervenir des facteurs biologiques. En 1935, L. Cayeux [2] en a fait l'historique. Son étude a été complétée récemment par I. Devèze et C. Duboul-Razavet [3], Cl. Lalou [4], G. Baron et J. Favre [5].

a. Synthèse physicochimique. — Dans ce type de synthèse, les conditions qui président à la formation de la dolomie sont toujours très différentes des conditions régnant normalement à la surface du globe. A. V. Kazakov et M. M. Tikhomirova [6], ont obtenu une dolomie de synthèse à une température de 150°. G. V. Chilingar [7] a réalisé la même synthèse avec une pression de CO_2 égale à 4 atm. G. Baron et J. Favre [5] ont obtenu de la dolomie en portant à 150° des solutions équimoléculaires de $MgCl_2$ et $CaCl_2$ saturées en gaz carbonique et placées dans une bombe où la pression de CO_2 était initialement, à 25° C, de 5 kg/cm². Ces expériences prouvent que la pression de CO_2 joue un rôle important dans la formation de la dolomie. C'est pour cette raison que Strakhov a imaginé que la teneur en CO_2 de l'atmosphère au temps paléozoïque, était supérieure à celle de l'atmosphère actuelle. La tension en CO_2 de l'atmosphère se serait abaissée au cours du Carbonifère, par suite de la fixation du carbone dans les couches de houille. L'étude du Trias français nous permet de réfuter immédiatement cette hypothèse, en ce qui concerne la formation

de la dolomie, puisque cet étage postérieur au Carbonifère est encore très riche en dolomies. Nous allons voir que les essais de synthèse faisant intervenir des phénomènes biologiques permettent d'émettre une hypothèse plus séduisante.

b. Synthèse faisant intervenir des phénomènes biologiques. — Depuis très longtemps (A. M. Murray et R. Irbine) ([8]), les auteurs ont songé à rattacher la formation de carbonate de calcium aux activités bactériennes. Il semble toutefois que ce soit Cl. Lalou ([4]) qui, pour la première fois, ait signalé un dépôt formé à la fois de carbonate de calcium et de magnésie par précipitation directe, à partir d'eau et de sédiments marins, dans des conditions de température et de pression normales. Le résultat a été obtenu en laissant agir dans un milieu constitué par de la vase et de l'eau de mer des bactéries se développant aux dépens de substances organiques carbonées diverses. Les diagrammes de diffraction X réalisés au B. R. G. M. par MM. Lévy, Nicolas et Pierrot montrent qu'il n'existe pas de dolomies vraies dans les précipités obtenus par Cl. Lalou. Les « raies de structure » sont absentes. Quoi qu'il en soit il est certain qu'une partie du produit obtenu ne diffère de la dolomie que par sa maille cristalline.

Si la synthèse physicochimique de la dolomie exige des pressions de CO_2 supérieures à la normale (4 atm) ou de fortes températures (150° C), il a été démontré par Cl. Lalou qu'un précipité de calcaire magnésien pouvait se déposer dans des conditions de pression et de température normales à condition que le milieu soit suffisamment riche en matières organiques pour que des bactéries sulforéductrices puissent se développer activement. Il serait intéressant de reprendre les expériences de Cl. Lalou dans des conditions de pression conformes à celles réalisées au cours de la synthèse physicochimique de la dolomie. Ces conditions sont réalisées à 40 m de fond puisque alors le CO_2 dégagé par les bactéries se trouve automatiquement à la pression de 4 atm.

Très récemment J. Neher et E. Rohrer ([9]) ont décrit, *dans un gneiss*, de la dolomie qui se formerait actuellement, à 160 m de profondeur, par processus bactérien. Ils auraient pu isoler les bactéries récoltées sur des carottes de sondage et leur faire produire de la dolomie au laboratoire.

Ces deux séries d'expériences permettent d'émettre l'hypothèse de la formation de la dolomie par précipitation bactérienne des carbonates, par 40 m de fond au moins, en présence de matières organiques. Cette hypothèse semble susceptible d'attirer l'attention des géologues. Est-il besoin de rappeler que les dolomies donnent le plus souvent une odeur fétide en cassure fraîche ? Enfin, les expériences ont montré que les espèces bactériennes isolées par MM. Neher et Rohrer prolifèrent à l'obscurité. Il existe donc plusieurs types de bactéries susceptibles de produire de la dolomie puisque celles qu'a étudiées Cl. Lalou ont besoin de lumière pour se développer. Dans ce cas, la profondeur limite à laquelle la dolomie est susceptible de se former ne devrait pas être supérieure à 100 m. Ces

conditions bathymétriques sont conformes aux indications fournies entre autres, par les sédiments triasiques.

Grâce aux expériences de Cl. Lalou, la formation de dolomie en milieux marins riches en vase ne nous semble plus être une énigme.

Si nous ne connaissons pas à l'heure actuelle de précipitations directes de dolomie en milieu marin, il faut supposer que le fait est dû à l'insuffisance de nos connaissances océanographiques ou que les conditions bathymétriques et biologiques nécessaires pour que la dolomie se forme, ne se trouvent réalisées que rarement dans les océans actuels. Rappelons toutefois, que R. Laffitte ([10]) a signalé la présence de cristaux de dolomie dans les lagunes à palétuviers, c'est-à-dire dans des conditions peut-être proches de celles qui régnaient en Europe occidentale à l'époque triasique.

([1]) N. M. Strakhov, *Méthode d'études sur les roches sédimentaires*, 1958. Traduction *Annales du Service d'Information géologique du B. R. G. M.*

([2]) L. Cayeux, *Les roches sédimentaires de France; les roches carbonatées*, Masson et Cie, Paris, 1935, p. 465.

([3]) I. Deveze et C. Duboul-Razavet, *Revue de l'Institut français du pétrole*, 12, n° 4, 1957, p. 493-500.

([4]) Cl. Lalou, *Ann. Inst. océan.*, 33, 1957, p. 201-267.

([5]) G. Baron et J. Favre, *Revue de l'Institut français du pétrole*, nos 7-8, 1958, p. 1067.

([6]) A. V. Kazakov et M. M. Tikhomirova, *Tr. de l'Inst. des Sc. géol. de l'A.N.S.S.S.R.*, 152, 1957, sér. géol., n° 64.

([7]) G. V. Chilingar, *Bull. amer. Ass. petrol. geol.*, n° 9, 1956, p. 40.

([8]) A. N. Murray et R. Irvine, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh*, 17, 1889, p. 79-109.

([9]) J. Neher et E. Rohrer, *Ecl. Gel. Helv.*, 51, n° 2, 1958, p. 213-215.

([10]) R. Laffitte, *Annales Hébert et Haug*, 7, 1949, p. 239-259.

(*Bureau de Recherches Géologiques et Minières.*)

GÉOLOGIE. — *Observations préliminaires sur le Jurassique de la région de Bileçik (Turquie)*. Note (*) de MM. **Yalçin Granit** et **Henri Tintant**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Dans la région de Bileçik (Anatolie nord-orientale), le Lias moyen est surmonté directement par des formations lenticulaires discontinues, mais très fossilifères, appartenant au Bathonien et au Callovien, puis, après une lacune correspondant à l'Oxfordien inférieur, par une épaisse série calcaire débutant à l'Oxfordien supérieur (Argovien) et montant jusqu'au Portlandien inférieur.

Le Jurassique moyen et supérieur de Turquie est encore fort mal connu et peu de coupes stratigraphiques détaillées en ont été publiées jusqu'à ce jour [1]. Or l'un d'entre nous (Y. G.) a pu relever récemment plusieurs coupes très complètes du Jurassique dans le Nord-Est de l'Anatolie et y récolter de riches faunes d'ammonites qui ont été déterminées par le second signataire de cette Note (H. T.).

La région étudiée est située à 80 km à l'Est de Bursa (Brousse). Les affleurements s'étendent le long de la rivière Karasu, affluent du Sakaria, entre les villes de Bileçik au Sud et de Mekece au Nord.

Dans cette région, au-dessus d'une série gréseuse et marneuse appelée « grès de Beyerkey », dont l'âge Pliensbachien inférieur est bien établi par de nombreuses ammonites, on trouve en légère discordance une épaisse masse de calcaires sublithographiques, les « calcaires de Bileçik », appartenant au Jurassique supérieur. Entre ces deux formations s'intercalent localement des lentilles discontinues correspondant à divers niveaux du Jurassique moyen et de la base du Jurassique supérieur. Plusieurs coupes permettent de préciser cette stratigraphie :

1° Au Sud de Bileçik, sur le flanc est de la colline de Yediler, on observe directement sur le Lias moyen une série épaisse de 50 m environ, constituée par des calcaires jaunâtres, parfois oolithiques, présentant vers la base quelques intercalations marneuses. Cette formation a livré de rares ammonites : *Procerites* aff. *quercinus* Terq. et Jourd. et *Macrocephalites* (*Pleurocephalites*) sp.

Ces calcaires de Yediler sont directement recouverts par les calcaires sublithographiques de Bileçik non fossilifères dans cette région.

2° Partout ailleurs dans la région étudiée, les calcaires de Yediler manquent, et la formation de Bileçik repose directement sur le Lias ou même parfois sur le Permo-Carbonifère, et débute généralement par des bancs minces et discontinus, mais très fossilifères, de faciès variable.

C'est ainsi que dans le Nord et l'Ouest de la région étudiée, la série de Bileçik commence par une couche d'*oolite ferrugineuse*, ne dépassant pas 1 m de puissance, mais très riche en ammonites souvent brisées ou corrodées sur une face. Nous avons pu y reconnaître plus de 40 espèces,

parmi lesquelles : *Macrocephalites macrocephalus* Schlot., *M.* (*Dolikephalites*) *typicus* Blake, *M.* (*Pleurocephalites*) *rotundus* Qu., *M.* (*Kamptokephalites*) *herveyi* Sow., *M.* (*K.*) *grantanus* Op., *Reineckeia* (*Reineckeites*) *douvillei* Steinm., *R.* (*R.*) sp. nov. aff. *hungarica* Till, et de nombreux Périsphinctidés, parmi lesquels *Grossouvria sulcifera* Op., *G. anomala* Loczy, *Choffatia villanyensis* Till, et de nombreux *Indosphinctes* (*I. patina* Neum., *I. choffati* Par. et Bonar., *I. urbanus* Spath, etc.).

3° L'oolite ferrugineuse est généralement surmontée par un niveau, également très mince, de calcaire compact, souvent rosé. Vers le Sud-Est, cet horizon est transgressif sur le précédent. C'est ainsi qu'au Nord-Est de Bileçik, aux environs du village de Kuyabaçi, il repose directement sur le Lias. Sa faune, composée essentiellement de céphalopodes, est assez abondante; elle renferme plus de 30 espèces parmi lesquelles *Sowerbyceras tietzi* Till, *Chanasia* sp. nov., *Peltoceras retrospinatum* Ger. et Cont., *P. trifidum* Quenstedt, *P. athletoides* Lah., *P. pseudoathleta* Sintz., *Pseudopeltoceras* cf. *retrorsum* Spath, *Subgrossouvria orion* Op., *S. coronæformis* Loczy, *Orionoides termieri* Ger. et Cont., *O. samatrensis* Spath, *Quenstedtoceras* sp., etc.

4° Au-dessus des deux niveaux précédents viennent les calcaires sublithographiques de Bileçik, formation homogène, épaisse de plus de 200 m, dont l'extrême base a livré en certains points une faune d'ammonites moins riche que les précédentes, mais très caractéristique. On peut y noter : *Phylloceras* (*Callyphylloceras*) *manfredi* Op., *Sowerbyceras tortisulcatum* d'Orb., *Dichotomosphinctes antecedens* Salf., *D. rotoides* Ronchadzé, *Discosphintes mindowe* Siem., etc.

Un second niveau fossilifère, situé 50 m au-dessus de la base de la série, dans des calcaires lithographiques blanc rosé, a fourni au Nord de Bileçik, dans la vallée de Badun, les ammonites suivantes : *Ataxioceras crassocostatum* Weg., *A.* aff. *desmoides* Weg., et, quelques mètres plus haut, *Katroliceras* cf. *acer* Neum. et *Progeronia* sp.

Les 150 m supérieurs de la formation de Bileçik n'ont donné, jusqu'ici, aucune ammonite, mais un exemplaire de *Pygope janitor* Pict. a été trouvé à 20 m du sommet. Ces calcaires renferment, par contre, de nombreuses algues et quelques Foraminifères, dont *Pseudocyclammina* aff. *lituus* vers le sommet (2). On note l'absence des Calpionelles.

De cette étude stratigraphique et paléontologique, on peut tirer les conclusions suivantes :

Au-dessus du Lias moyen (formation de Beyerkey) existe une importante lacune, et le premier niveau ultérieur bien daté est le Bathonien représenté par la partie inférieure des calcaires de Yediler, dont la partie supérieure monte au moins jusqu'au Callovien. La rareté des fossiles ne permet pas de mieux préciser, à l'heure actuelle, les limites de cette formation.

C'est également au Callovien qu'il convient d'attribuer les couches lenticulaires signalées à la base de la formation de Bileçik. L'oolite ferrugineuse présente en effet, parmi les nombreuses ammonites que nous avons déterminées, quelques formes du Callovien inférieur (zone à *Macrocephalites macrocephalus*) associées à une grande majorité d'espèces caractéristiques du Callovien moyen (zone à *Reineckeia anceps*). Les deux zones sont donc représentées, mais ne paraissent pas distinguables par suite de phénomènes, soit de remaniement, soit de condensation.

Les calcaires surmontant l'oolite ferrugineuse présentent une faune bien typique du Callovien supérieur et correspondent, malgré l'absence des espèces indicielles, à la zone à *Peltoceras athleta* et probablement aussi à la zone à *Quenstedtoceras lamberti*.

La faune d'ammonites de ce Callovien est très intéressante et fera ultérieurement l'objet de descriptions détaillées. Elle présente un caractère mésogéen souligné par l'abondance des Phyllocératidés. Mais il convient d'y signaler l'extrême rareté des Reineckeidés et des Hecticocératidés, contrastant avec la grande abondance des Périsphinctidés, dont certains présentent des affinités avec les formes indiennes, tandis que d'autres se rapprochent plutôt des formes européennes, en particulier de celles de Villany (Hongrie).

Au-dessus de ce Callovien, l'Oxfordien inférieur paraît absent et le premier niveau constant de la formation de Bileçik est bien daté de l'Oxfordien supérieur (Argovien) par sa faune d'ammonites. La formation doit représenter la plus grande partie du Jurassique supérieur et le niveau fossilifère trouvé 50 m au-dessus de sa base correspond à l'extrême base du Kiméridgien. Les ammonites qu'il a livré permettent de le synchroniser avec la zone à *Sutneria platynota*.

En l'absence d'ammonites, il est difficile de préciser l'âge exact du sommet de la série. Cependant la présence de *Pygope janitor* et de *Pseudocyclammina* aff. *lituus*, jointe à l'absence des niveaux à Calpionelles, permet de penser que la formation de Bileçik se termine ici dans le Portlandien inférieur.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) On trouvera un bon résumé de nos connaissances sur le Jurassique de Turquie dans : W. J. ARKELL, *Jurassic Geology of the World*, p. 349-350.

(2) Détermination de M. Dufaure.

(*Laboratoire de Géologie, Faculté des Sciences, Dijon*).

GÉOLOGIE. — *Comparaisons entre la Berbérie et le territoire siculo-calabrais.* Note de MM. **André Caire** et **Maurice Mattauer**, présentée par M. Pierre Pruvost.

La Berbérie, la Sicile et la Calabre méridionale présentent d'étroites analogies, en ce qui concerne les Flyschs crétacés internes et certaines formations tertiaires. Les zones paléogéographiques correspondantes s'allongeaient du détroit de Gibraltar jusqu'en Calabre et subirent, sur toute leur longueur, la même évolution d'âge oligo-miocène.

Les analogies entre le territoire siculo-calabrais et les chaînes tertiaires d'Afrique du Nord ont été soulignées par divers auteurs, et en particulier par MM. Beneo (1), Caire (2), Castany (3), Glangeaud (4) et Fallot (5). Cependant, on n'avait jamais eu l'occasion d'établir des comparaisons détaillées, ni de proposer des rapports certains. Nous allons montrer, en nous limitant au point de vue stratigraphique, que certaines séries présentent dans ces diverses régions les mêmes caractères pétrographiques et sédimentologiques, la ressemblance apparaissant à toutes les échelles et jusque dans l'extrême détail.

1. *Oligo-Miocène molassique.* — Dans les monts péloritains et la Calabre méridionale affleure, sur de vastes surfaces, une puissante formation qui recouvre en discordance des terrains allant du socle granitique à l'Éonummulitique. Elle présente localement, à sa base, des conglomérats grossiers qui sont analogues, par leur faciès et leur situation, à ceux de l' « Oligocène kabyle » d'Algérie. La partie principale de la formation est constituée par une série à faciès molassique, identique à l'« Oligocène micacé » du Rif (Beni Ider) et d'Espagne méridionale (6), et aux séries molassiques de certaines régions d'Algérie (Djebel Morissane, Nord-Constantinois). Il est probable que cette formation empiète sur l'Oligocène supérieur et le Miocène inférieur. C'est pourquoi nous la nommerons « Oligo-Miocène molassique ». Elle a fait l'objet de travaux récents de MM. Accordi (7), Colacicchi (8), Jacobacci et Martelli (9), Ogniben (10) et Selli (11). Elle affleure en particulier : en Sicile, le long de la route n° 116, de Capo d'Orlando au col de Zoppo; le long de la route n° 113, entre Castel di Tusa et S. Stefano di Camastra, puis aux environs de Reitano; en Calabre dans la région de Plati (Aria del Vento, etc.).

L'Oligo-Miocène molassique contient et supporte des lambeaux, plus ou moins vastes, de terrains provenant des parties internes de l'arc siculo-calabrais. Ce sont des Flyschs variés, que nous examinons ci-dessous. Peut-être ces Flyschs ont-ils été, à une certaine époque, tous *contenus* dans l'Oligo-Miocène, ceux qui le surmontent actuellement ayant été dégagés récemment par l'érosion.

2. *Flysch tithonique-néocomien.* — Identique à celui du Rif (Djebel Tisirhen) (12) et à une partie de la « Nappe du Flysch » (13) d'Algérie, il

comprend des schistes, quartzites, calcaires microbréchiques à *Aptychus*, et calcaires à Calpionelles. Il affleure bien en Sicile, en particulier à l'Ouest de Gangi, à St. di Cerda, à 2 km à l'Ouest-Nord-Ouest de Floresta, de part et d'autre de S. Domenica Vittoria.

3. *Flysch cénomano-turonien.* — Très analogue au Flysch cémano-turonien de la « Nappe du Flysch » d'Algérie et des formations ultra-rifaines ([12]), il est caractérisé par des schistes sombres, des microbrèches calcaires à Fissurines, Rosalines monocarénées et Cunéolines, et des phtanites en petits lits alternants, blancs, jaunes, rouges ou noirs. De bons affleurements se trouvent en Sicile, au Sud-Est du M. Sambughetti, le long de la route n° 117, et, en Calabre, au Nord-Est de Plati.

4. *Flysch sénonien.* — Il présente les mêmes caractères que le Flysch sénonien des unités internes d'Afrique du Nord, contenant en particulier des calcschistes verdâtres, des calcaires microbréchiques plus ou moins gréseux, avec glauconie et pyrite, des grès calcaires en feuillets contournés, et des niveaux versicolores. Un bon affleurement se situe entre Plati et Careri (Calabre).

5. *Numidien.* — Identique au Numidien du Maroc, d'Algérie et de Tunisie, le Numidien siculo-calabrais offre les deux termes classiques. Dans sa partie inférieure, ce sont les « argiles numidiennes » avec leurs argiles versicolores à *Tubotomaculum*, leurs quartzites, leurs boules et plaques de calcite fibreuse noire à structure *cone in cone*. On voit aussi, entre Mistretta et P^lla^ del Contrasto (Sicile), des argiles schisteuses sombres et lits de quartzites à Orthophragmines ressemblant au Numidien basal de certains massifs du Rif (Djebel Jesana). A ces argiles sombres s'associent des marnes blanchâtres ou grises et des calcaires à Nummulites, Alvéolines et Orthophragmines. La partie supérieure de la série correspond aux « grès numidiens », siliceux, durs, parfois riches en dragées de quartz, en bancs irréguliers, séparés par des niveaux argileux. De bons affleurements de Numidien apparaissent, en Sicile : entre Cefalù et Castel di Tusa, entre Mistretta et P^lla^ Portete, entre le Monte Castelli et le Monte Sambughetti; en Calabre : à l'Ouest de la route n° 106, entre le cap Spartivento et Brancaleone Marina, et dans la région de Plati. Très souvent, les bancs gréseux reposent par la tranche sur les terrains sous-jacents. Cette disposition est analogue à celle que nous avons observée en Afrique du Nord ([2]), ([14]).

Les rapprochements que nous venons d'établir indiquent l'étroite analogie, sinon l'identité, de l'évolution géologique entre l'arc bético-rifo-kabyle et la portion étudiée de l'ensemble siculo-calabrais.

([1]) E. BENEO, *Boll. Serv. geol. d'Italia*, 72, n° 1, 1950, p. 9-16 et 73, n° 2, 1951, p. 409-438.

([2]) A. CAIRE, *Ann. Sc. Univ. Besançon*, 2e série, 1, 1954, p. 35-82 et *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, n. s., Bull. n° 16, 1957.

([3]) G. CASTANY, *Ann. Mines et Géol., Tunis*, n° 16, 1956.

([4]) L. GLANGEAUD, *Bull. Soc. géol. F.*, (6), 1, 1951, p. 735-762.
([5]) P. FALLOT, *Cours Coll. de France*, 1958-1959.
([6]) M. DURAND DELGA et M. MATTAUER, *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, 1960, p. 22-24.
([7]) B. ACCORDI, *Boll. Serv. geol. d'Italia*, 79, 1957, p. 929-949 et 77, 1958, p. 167-174; *Ecl. geol. Helv.*, 51, n° 3, p. 827-833.
([8]) R. COLACICCHI, *Boll. Serv. geol. d'Italia*, 79, 1957, p. 881-911.
([9]) A. JACOBACCI et G. MARTELLI, *Bol. Serv. geol. d'Italia*, 79, 1957, p. 837-877.
([10]) L. OGNIBEN, *Mem. Ist. Geol. e Miner. Univ. Padova*, 18, 1954 et *Bol. Serv. geol. d'Italia*, 75, 1953, p. 281-289.
([11]) R. SELLI, *Giorn. Geol.*, 2e série, 26, 1954, p. 1-54.
([12]) M. DURAND DELGA et M. MATTAUER, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2364-2499.
([13]) L. GLANGEAUD, *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), 27, 1926, p. 47-60.
([14]) M. MATTAUER, *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, n. s., Bull. n° 17, 1958.

(Facultés des Sciences de Paris et de Montpellier.)

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Oscillations de pression atmosphérique liées à un orage magnétique.* Note de M[lle] **Monique Durandeau**, MM. **Jean Delloue** et **Yves Rocard**, transmise par M. Francis Perrin.

Trois oscillations microbarographiques concomitantes en trois stations du Pacifique semblent pouvoir avoir été provoquées par un flot de particules cosmiques se manifestant également sous forme d'un orage magnétique.

A Bora-Bora, Makatéa et Tahiti, trois appareils gérés par le service de détection du Commissariat à l'Énergie Atomique ont, le 1[er] avril 1960, enregistré des oscillations de pression barométrique, reproduites sur la figure 1 avec le décalage d'heure voulu pour les rendre superposables.

Ces signaux correspondent visiblement au même phénomène du fait qu'une telle superposition est possible, les différences d'heure d'arrivée aux trois stations évoquant une propagation. Ils ne sont pas sans quelque

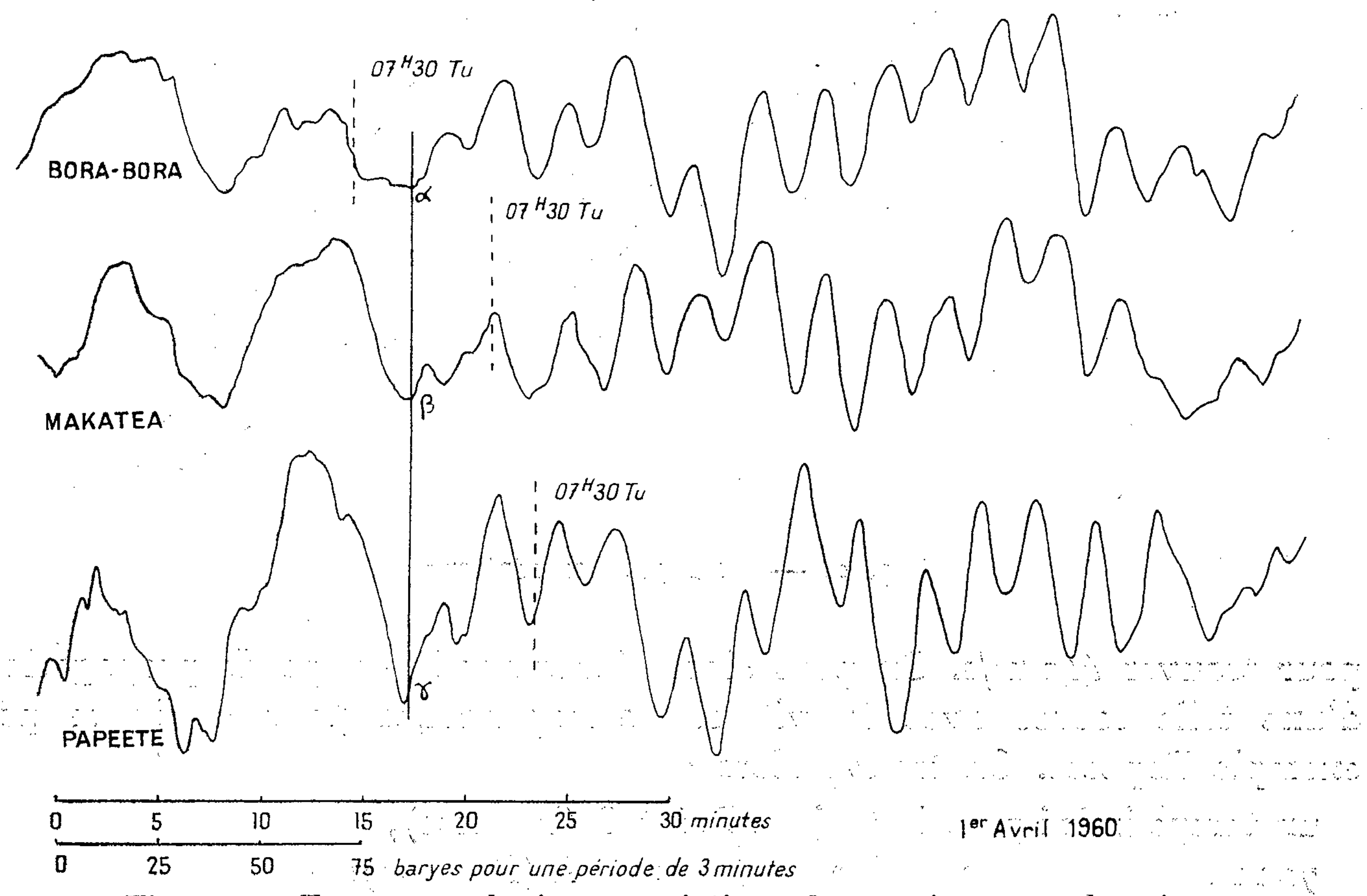


Fig. 1. — Temps en abscisses, variations de pression en ordonnées. α, β, γ sont trois points ayant servi à fixer la mise en phase des trois signaux.

ressemblance avec les signaux d'une très forte explosion (thermonucléaire par exemple) qui aurait pu avoir lieu à 8 000 ou 10 000 km.

Cependant une telle explosion ne saurait en être la cause pour deux principales raisons : absence de dispersion dans le signal (les oscillations se maintenant à 3 mn de période environ pendant une demi-heure environ), absence de composantes plus rapides, caractéristiques de toutes les explosions enregistrées jusqu'ici, et enfin vitesse de propagation trop grande

si le signal vient de loin. La figure 2 montre en effet la situation géométrique qui permet de conclure à une vitesse de 440 m/s pour une onde balayant les trois stations avec les décalages de temps enregistrés, en triangulation supposée plane pour simplifier.

Si on laisse indéterminée la vitesse de propagation du signal, on trouve un lieu de points possibles pour l'origine du phénomène ayant causé ces signaux, chaque point du lieu correspondant à une vitesse. Par exemple (*fig.* 2) O, centre équidistant des trois stations, correspond à une vitesse nulle, A correspond à 40 m/s, B à 303 m/s, et il faut aller très loin vers C

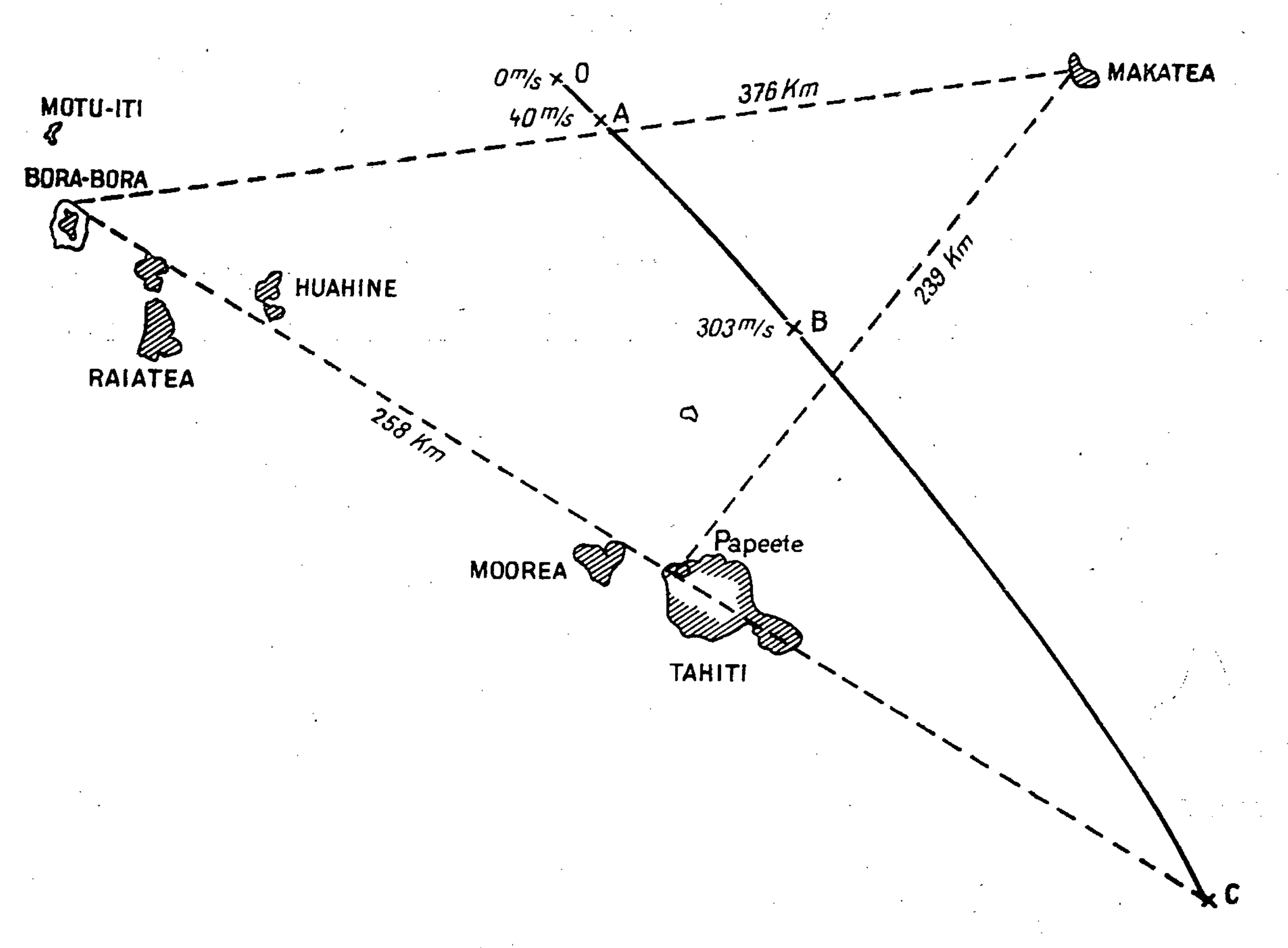


Fig. 2. — Triangle des stations.

pour trouver 440 m/s. On peut alors considérer le temps de propagation d'une telle source avec la vitesse correspondante pour atteindre par exemple Papeete. On trouve alors :

un temps infini pour le trajet : Point O (Papeete);
70 mn » » : » A (Papeete);
5 mn 50 s » » : » B (Papeete).

En cherchant une cause possible de ce phénomène, nous avons alors fait un rapprochement avec le fait que la 1er avril 1960 une très forte perturbation magnétique a troublé les radiocommunications. Grâce à l'Office of Naval Research, nous avons eu connaissance d'une anomalie précise sur les enregistrements de champ magnétique terrestre dans les stations américaines à 6 h 01 T. U.

Bien que l'heure du début du phénomène barométrique ne soit pas facile à fixer avec précision, nos enregistrements (*fig.* 1) la situeraient à Tahiti

vers 7 h 10-7 h 15 T. U. Si l'on admet que la perturbation magnétique a eu une cause créant simultanément une action mécanique sur l'atmosphère (peut-être un brusque échauffement) il faut admettre 70 à 75 mn de propagation jusqu'à Papeete. Ce temps de propagation nous oblige, d'après ce qui précède, à situer l'origine de l'effet mécanique à peu près au point A (*fig.* 2) et à admettre une vitesse de propagation ne dépassant pas 40 m/s.

Or il est connu que les oscillations microbarographiques à des fréquences d'ordre météorologique se propagent précisément à une vitesse qui n'a rien de sonore et qui est précisément de 40 m/s environ.

Dans ces conditions, nous croyons pouvoir supposer que l'orage magnétique du 1er avril 1960 a eu pour cause, ou a comporté, l'arrivée d'un flot brusque et abondant de particules chargées, arrêtées localement dans la haute atmosphère en lui communiquant de la chaleur et de la quantité de mouvement, et que nous sommes en présence d'une manifestation météorologique liée à cet orage magnétique, et traduite par les oscillations enregistrées sur la figure 1.

Quelques remarques s'imposent :

1° Trois microbarographes seulement étaient en service. Il aurait mieux valu en avoir quatre, ce qui aurait permis de fixer avec précision le point-source et la vitesse de propagation météorologique, sans appel à un phénomène d'un autre ordre.

2° La géométrie tracée sur la figure 2 est obtenue en l'absence de vent. En fait, le vent pourrait bien être le vrai mécanisme de propagation Si l'on connaissait un vent moyen réel en altitude sur toute la région, on aurait le moyen de déterminer un point-source plus réel, mais les conclusions resteraient du même ordre.

3° Le 1er avril est fortuitement aussi la date du second test nucléaire français au Sahara, mais cette explosion de faible puissance à une heure à peine antérieure à 6 h T.U. ne semble pas avoir pu avoir un effet quelconque sur les phénomènes étudiés dans cette Note.

4° Les perturbations sur les communications radioélectriques le 1er avril ont débuté d'ailleurs avant 6 h T.U.

5° Il est probable que dans le passé, d'autres oscillations barométriques d'origine semblable ont dû être enregistrées, mais la quasi-concordance sur trois stations également bien placées est probablement très rare.

PÉDOLOGIE. — *Évolution des acides aminés lors de la décomposition de la matière organique du sol.* Note (*) de M. **Fernand Jacquin**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

Pendant ces dernières années, toute une série de travaux a été consacrée à l'étude des aminoacides du sol. Les études qualitatives et quantitatives [1], [2] montrent une grande similitude des composés présents dans les différents horizons de profils très divers. Cependant l'évolution et le rôle des acides aminés dans la formation des substances humiques laissent encore de nombreux points obscurs. La principale source d'azote dans le sol étant constituée de matière organique fraîche, nous avons suivi au laboratoire la décomposition de quelques débris végétaux. Cette méthode a d'ailleurs été utilisée récemment par Sowden et Ivarson [3] pour l'étude de la décomposition des litières forestières. Leurs recherches portent sur un mélange de litières d'arbres à feuilles caduques avec un Mull et de litières de conifères avec un Mor. Après 53 jours d'incubation, ces auteurs constatent une légère augmentation du taux d'acides aminés, puis vers le 165e jour une diminution.

Dans nos travaux, nous avons utilisé de la sciure de Hêtre, de la paille de Blé et les parties aériennes d'un Trèfle violet à maturité; tous ces végétaux étant fortement lignifiés. Les inoculums naturels provenaient des horizons humifères d'un podzol, d'un mull forestier et d'une rendzine agricole; nous avons ensemencé également les milieux avec un inoculum mixte n° 2 issu d'un dépôt de copeaux de Hêtre sur sol calcaire et de souches pures de *Trechispora sp.* et d'un Hyménomycète non identifié, isolés et décrits par F. Mangenot [4].

Après respectivement 12 et 20 mois d'incubation, nous avons étudié chromatographiquement les acides aminés présents dans les extraits aqueux acidifiés par HCl 0,5 N, extraits correspondant aux acides fulviques libres de Tiurin. Nous avons effectué une estimation semi-quantitative en utilisant des quantités d'extraits identiques pour chaque milieu étudié.

Tous les témoins stériles montrent une importante série d'acides aminés. Dans les extraits de fioles ensemencées et incubées, après un an, nous constatons la disparition de certains d'entre eux. Ce phénomène varie avec la nature de l'inoculum : faible pour les souches pures, il augmente avec la flore d'un mull et d'un podzol pour atteindre un maximum avec la flore de rendzine agricole et celle de l'inoculum mixte n° 2; cette dernière analogie avait déjà été remarquée dans un précédent travail [4].

D'autre part, en corrélation avec la disparition plus ou moins complète des acides aminés, il se produit une augmentation de la teneur en osamines.

Après 20 mois les chromatogrammes d'extraits, avec inoculum de podzol et de rendzine montrent une accentuation de ces processus, mais les différences entre les deux catégories s'atténuent fortement.

Les résultats obtenus confirment donc les travaux de Sowden ([3]), ils apportent en outre des éléments d'information nouveaux :

1° La durée beaucoup plus longue d'incubation permet de déceler une diminution plus probante des acides aminés.

2° Nous avons comparé l'influence de l'inoculum et de la nature de substratum; celle de la microflore apparaît nettement prépondérante. Mais ceci peut s'expliquer par le fait que les substrats utilisés possédaient une composition analogue quant à leur teneur en lignine. Nous continuons nos expériences en utilisant des substrats de composition différente et en variant la teneur en carbonate de calcium et en azote.

3° Comme Swoden ([3]), nous constatons une formation d'amino-sucres plus importante en présence d'une population riche en bactéries (rendzine) que dans le cas d'une prédominance fongique (podzol). Par contre, après 20 mois, les différences observées s'atténuent considérablement.

4° On retrouve dans tous les extraits aqueux hydrolysés par HCl 5 N une série identique d'acides aminés. Or après 20 mois d'incubation la quantité globale des acides aminés est bien supérieure à celle trouvée, à la même date, dans les mêmes extraits aqueux, mais non hydrolysés. Si l'on rapproche ce résultat du fait que la quantité d'acides humiques, dont une partie est soluble, ne cesse de croître pendant la durée de l'expérience, on peut en déduire qu'une partie des acides aminés a été incorporée à des molécules plus condensées. Ceci est confirmé par nos travaux antérieurs ([5]) lesquels montrent exactement la même série d'acides aminés après hydrolyse d'acides humiques provenant d'humus naturels.

En conclusion, nos recherches ont montré que la décomposition des débris végétaux utilisés, s'accompagne d'une dégradation progressive des protéines et leur transformation au moins partielle en amino-sucres; une autre fraction étant probablement intégrée directement dans la formation de particules plus condensées.

Les différences dans la composition et les propriétés des humus naturels s'expliqueraient par une évolution ultérieure de ces composés azotés simples, évolution étroitement liée aux conditions physicochimiques comme l'indique Duchaufour ([6]).

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) J. M. Bremmer, *Biochem. J.*, 47, 1950, p. 538-542.
([2]) F. J. Stevenson, *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 21, 1957, p. 283-287.
([3]) F. J. Swoden et K. C. Ivarson, *Plant and Soil*, 11, n° 3, 1959, p. 237-261.
([4]) F. Jacquin et F. Mangenot, *Plant and Soil*, 11, n° 4, 1959, p. 377-391.
([5]) F. Jacquin, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1892.
([6]) P. Duchaufour, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4422.

(*École Nationale Supérieure Agronomique, Nancy.*)

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Embryogénie des Rubiacées. Développement du proembryon chez le* Galium Aparine *L.* Note (*) de Mlle **Ly thi Ba**, présentée par M. René Souèges.

Le *Galium Aparine* L. procède d'une tétrade en C_2 et il se rattache au même mégarchetype V que le *Sherardia arvensis*; il présente des irrégularités comparables. On peut y rencontrer exceptionnellement des formes où les quadrants sont disposés en deux étages bicellulaires, ce qui confirme la parenté des Rubiacées de la tribu des Rubiées avec les Rubiacées des tribus voisines.

On sait que les Galiées [1] sont remarquables par des formes proembryonnaires présentant un nombre important de cellules superposées, avant que des divisions verticales se produisent au niveau des éléments supérieurs [2]. L'étude embryogénique que R. Souèges [3] a faite du *Sherardia arvensis* L. sans être absolument concluante, pouvait faire penser que cette espèce se rattachait aux Solanacées dont certains représentants montrent, dans leur développement, des variations et des irrégularités comparables à celles qu'on rencontrait chez la Rubiacée. Des observations ultérieures sur des espèces appartenant à des tribus autres que les Rubiées, le *Richardsonia pilosa* A. B. et K. [4], et le *Diodia Dasycephala* Cham. et Schlecht. [5] ont confirmé que les Rubiacées à suspenseur relativement court, s'apparentaient étroitement aux Solanacées par leurs caractères embryogéniques.

Il était intéressant de reprendre l'étude d'une Rubiée. C'est pourquoi nous nous sommes adressé au *Galium Aparine* L. qui appartient au genre le mieux représenté de la tribu, puisqu'il groupe plus de 200 espèces.

Au proembryon bicellulaire (*fig.* 1) succède une tétrade de la série C_2 (*fig.* 3). Les cellules l et l', filles de ca, peuvent se cloisonner toutes deux transversalement (*fig.* 10) ou verticalement (*fig.* 8), mais, dans certains cas, la paroi peut être verticale en l, tandis qu'elle est horizontale en l' (*fig.* 7). Les divisions au niveau de cb sont beaucoup plus homogènes, car elles sont toujours initialement transversales (*fig.* 4 à 8). Étant donné l'accélération qui se produit à cet étage, on ne rencontre apparemment jamais de formes octocellulaires correspondant au stade des quadrants, le suspenseur comptant à cette époque au moins cinq cellules (*fig.* 7 et 8).

Il est assez facile de rapporter les formes proembryonnaires plus âgées à deux des types que l'on définit, selon le mode de groupement de leurs quadrants Au type dessiné en 7 se rattacheraient les figures 9, 11, 12, 14 et probablement 18.

Les figures 13, 15 et peut-être 20, proviendraient de formes où les quadrants sont disposés comme en 10. Malgré les variations fort importantes observées dans la position des quadrants, les destinées des cellules ca et cb ne sont pas modifiées. Comme chez le *Sherardia*, la cellule intermédiaire m de la tétrade produit la portion moyenne de la coiffe et les éléments supérieurs du suspenseur. La portion inférieure de ce suspenseur

est formée de vésicules qui se confondent avec les cellules de l'albumen; elle provient de la cellule *ci* de la tétrade. Les quadrants supérieurs produisent, dans tous les cas, la partie cotylée, tandis que les quadrants inférieurs fournissent la partie hypocotylée et les initiales de l'écorce de la racine.

Le développement de l'embryon chez le *Galium Aparine* est, en définitive, identique à celui du *Sherardia arvensis*. Il présente à peu près les

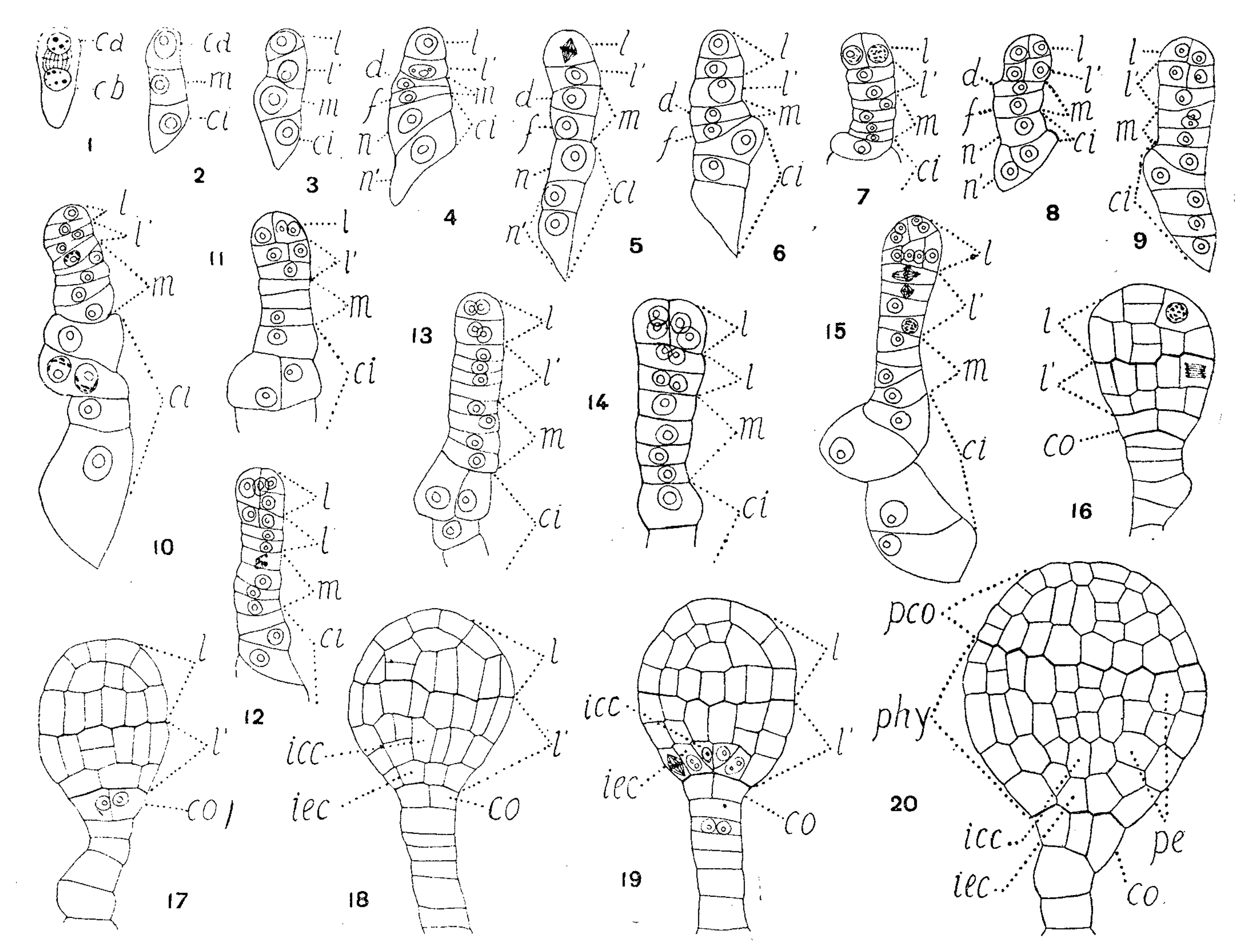


Fig. 1 à 20. — *Galium Aparine* L. — Les premiers termes du développement de l'embryon. *ca*, cellule apicale et *cb*, cellule basale du proembryon bicellulaire; *l*, cellule fille supérieure de *ca*; *l'*, cellule fille inférieure de *ca*; *m* et *ci*, cellules filles de *cb*; *d*, cellule fille supérieure de *m*; *f*, cellule fille inférieure de *m*; *n* et *n'*, cellules filles de *ci*; *pcco*, région cotylée issue de *l*; *phy*, région hypocotylée issue de *l'*; *co*, primordium de la coiffe; *pe*, périblème; *iec*, initiales de l'écorce et *icc*, initiales de la stèle de la racine. (G. × 320.)

mêmes variations dans la disposition des quadrants; en plus, une forme a été rencontrée qui n'avait pas été observée dans l'autre espèce, celle où les quadrants sont disposés en deux étages bicellulaires. Ce cas est rare puisque nous n'avons pas pu lui rapporter des exemples intermédiaires aux formes plus âgées des figures 16, 17 et 19, mais il est d'une signification très importante, car il correspond exactement à celui qui est régulièrement observé chez le *Richardsonia pilosa*. Il s'agit d'une disposition tout à fait analogue à celle qu'on rencontre chez les *Nicotiana* et les *Hyoscyamus* qui ont permis de définir le type embryonomique des

Solanacées (6). C'est une bonne raison pour rapporter les embryons de la tribu des Rubiées aux formes embryonnaires diverses que présentent, au niveau du mégarchétype V, une grande partie des Solanacées étudiées jusqu'ici (7).

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) G. Bentham et J. D. Hooker, *Genera plantarum*, 2, Londres, 1873-1876.

(2) F. E. Lloyd, *Memoirs of the Torrey bot. Club*, 8, 1899-1902, p. 1-112.

(3) R. Souèges, *Comptes rendus*, 178, 1924, p. 1919; *Bull. Soc. bot. Fr.*, 72, 1925, p. 546.

(4) R. Souèges, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 5.

(5) P. Crété, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 861.

(6) R. Souèges, *Bull. Soc. bot. Fr.*, 69, 1922, p. 166-236.

(7) R. Souèges, *Embryogénie et Classification*, 3e fasc. (*Essai d'un système embryogénique*, Partie spéciale : 1re *période du système*), Hermann, Paris, 1948.

(*Laboratoire de Botanique générale, Faculté de Pharmacie, Paris.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Étude de la croissance et du développement du* Begonia gracilis *en conditions uniformes de lumière et de température : action de l'acide gibbérellique.* Note (*) de M. **Hubert Tavant**, présentée par M. Raoul Combes.

Analyse de la croissance de plants de *Begonia gracilis* recevant hebdomadairement sur la première feuille épicotylée une à cinq gouttes d'une solution alcoolique d'acide gibbérellique : graphiques représentant la variation de largeur du limbe des feuilles et de leur pétiole en fonction du temps, ainsi que la variation de la longueur des entre-nœuds et de leur diamètre en fonction de leur position sur la plante.

Les plantes étudiées ont été cultivées en lumière continue (éclairement de 2 700 lx environ) produite par une batterie de quatre tubes « Phytor » ([1]). La température était de 25 ± 1° C et l'humidité relative oscillait entre 60 et 80 %.

Les graines, mises à germer dans un mélange de terreau et de terre franche, ont levé au bout de 8 jours. Les plantules sont repiquées lorsque la première feuille épicotylée atteint de 6 à 10 mm de largeur. Le traitement commence 8 jours après le repiquage. Chaque semaine, nous déposons sur le limbe (face adaxiale) de la première feuille épicotylée une à cinq gouttes d'acide gibbérellique à la concentration de 1/40e dans une solution alcoolique ([2]).

La feuille qui reçoit les applications d'acide gibbérellique ne subit aucune modification; elle semble cependant stoppée dans son développement;

— la tige principale, 8 jours après la première application, présente un allongement marqué ainsi que les pétioles.

Quatorze jours après, des mesures ont été effectuées; elles ont été poursuivies pendant environ deux mois :

— les individus traités présentent un aspect beaucoup plus grêle que les témoins (*fig.* 1) dont les entre-nœuds sont plus réduits;

— il est souvent nécessaire de soutenir d'un tuteur les plants traités;

— pendant tout le temps de la culture (environ 4 mois) les sujets « gibbérellinisés » n'ont jamais fleuri, alors que la floraison a débuté vers le troisième mois pour les témoins.

La tige principale des témoins présentait une base nettement tubérisée (et bientôt pourvue de racines adventives); cette tubérisation était beaucoup moins marquée pour les plants traités.

Les mesures de croissance nous ont permis d'établir trois groupes de graphiques (*fig.* 2). Les graphiques A et A′ représentent les variations de la largeur du limbe des feuilles de la tige principale en fonction du temps. Les jours ont été comptés à partir de la première application d'acide gibbérellique. La feuille n° 1, ayant terminé sa croissance lors des premières

mesures, n'est pas représentée. Les graphiques B et B′ indiquent les variations de longueur des pétioles des feuilles de la tige principale en fonction du temps. Enfin sur les graphiques C et C′, nous avons représenté en trait continu les variations de la longueur des entre-nœuds en fonction de leur position sur la plante (l'entre-nœud n° 1 correspond à la portion comprise entre les cotylédons et la première feuille); en points et tirets les variations du diamètre de ces entre-nœuds toujours en fonction de leur position.

L'étude de l'un des témoins montre un maximum de largeur du limbe pour la feuille n° 5. En deçà, les différentes feuilles ne présentent pas la

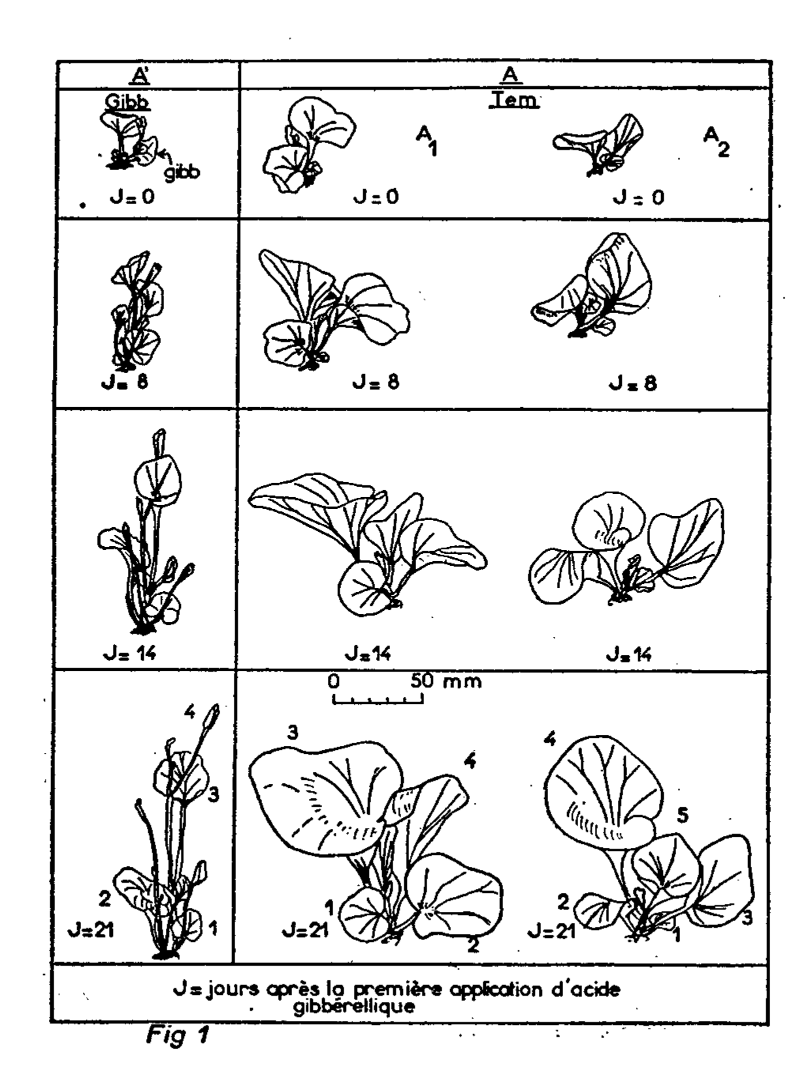


Fig 1

forme typique (dissymétrie du limbe); au-delà, dès que cette forme est atteinte, les feuilles cessent de s'élargir.

A partir du cinquième nœud, apparaît le premier axe d'inflorescence. Il semble que jusqu'à la feuille n° 4 nous ayons le stade végétatif ([3]); à partir de la feuille n° 5 commencerait le stade sexué correspondant à l'apparition du premier axe d'inflorescence et de la forme foliaire caractéristique.

Les entre-nœuds de la base de la tige sont courts; ceci semble être en rapport avec la tubérisation de cette région et l'état végétatif de la plante.

On peut remarquer que les graphiques A′ et B′ sont inversés en quelque sorte par rapport à A et B : l'élargissement des limbes semble inhibé par le traitement, alors que ce dernier stimule l'allongement des pétioles. D'autre part, l'acide gibbérellique a eu un rôle efficace sur l'allongement des entre-nœuds, spécialement du deuxième au quatrième.

L'acide gibbérellique accélère donc l'allongement de la tige principale et des pétioles, mais inhibe l'élargissement des limbes qui ne s'étalent pas complètement et présentent souvent une forme en cornet; les bour-

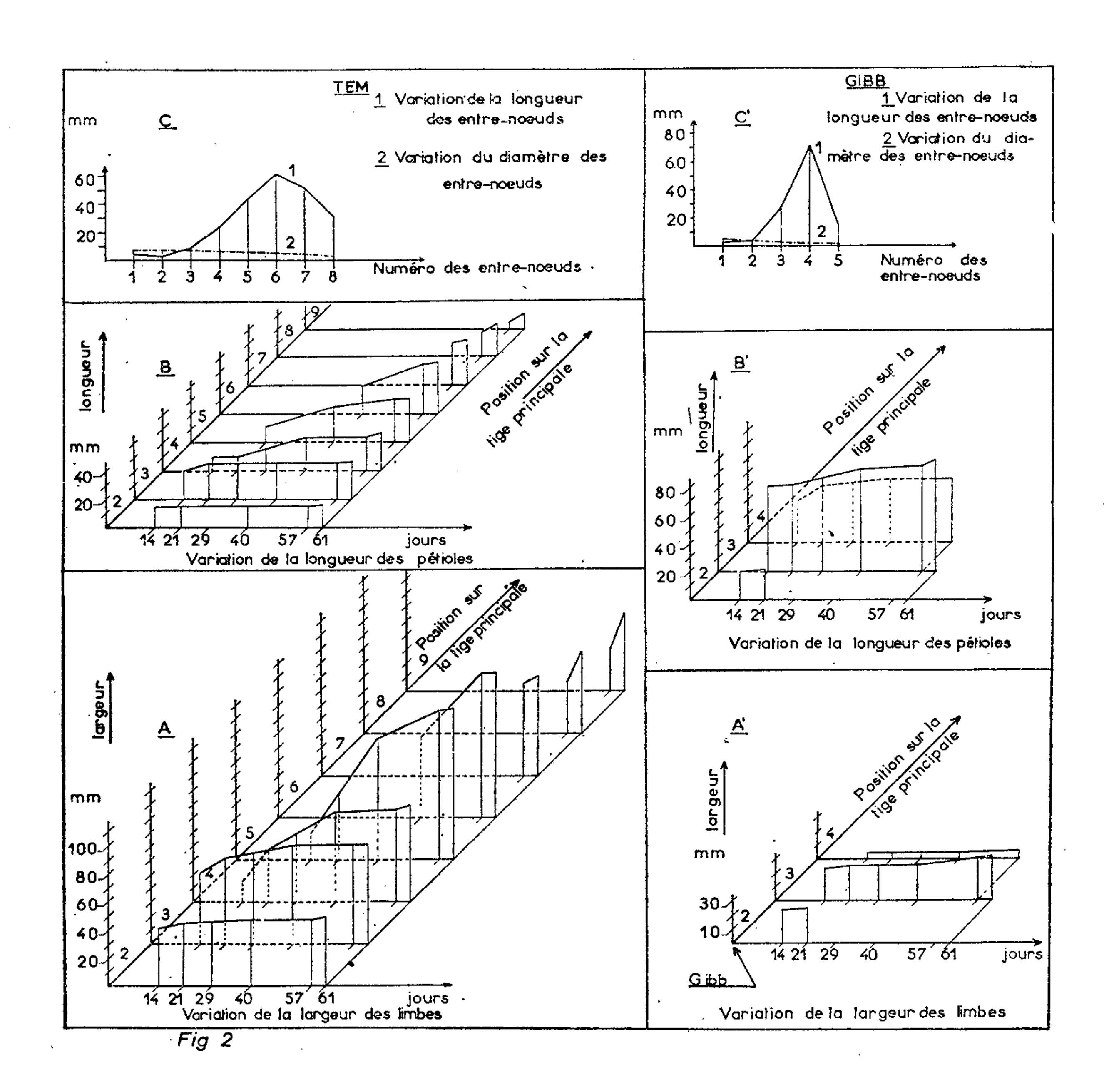


Fig 2

geons latéraux ne produisent aucune ramification, excepté lorsque les feuilles de la tige principale tombent prématurément; les plants traités ne fleurissent pas, même après quatre mois de culture, dans nos conditions d'expérience.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(¹) R. Bouillenne et M. Fouarge, *Bull. hortic.*, Liège, 8, nº 3, 1953.

(²) P. Chouard, *Revue hortic*, nº 2.222, 1958, p. 1793-1803.

(³) C. Sironval, *Archives de l'Institut Botanique de l'Université de Liège*, 21, 1951, p. 523-537.

ZOOLOGIE. — *Les structures cellulaires de type nerveux et de type musculaire de l'Éponge siliceuse* Tethya lyncurium *Lmk.* Note (*) de M. **Max Pavans de Ceccatty**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Les structures cellulaires de type nerveux chez les Éponges ont fait l'objet d'un certain nombre de nos publications antérieures ([1]), ([2]). Elles posent des problèmes qui peuvent être rendus plus clairs par les données originales que *Tethya lyncurium* Lamarck permet de verser au débat.

En effet, comme tous les autres Spongiaires que nous avons étudiés, *Tethya lyncurium* présente des cellules qui, par leur morphologie, évoquent les neurones de Métazoaires plus évolués. Mais en outre, cette espèce nous offre des particularités nouvelles. Fondamentalement, ces particularités se résument dans la réaction de ces formations cellulaires vis-à-vis de la technique d'imprégnation argentique de Ramón Y Cajal. Après fixation dans l'alcool absolu et incubation des pièces dans du nitrate d'argent, puis réduction par le mélange acide pyrogallique-formol, les fragments sont inclus à la paraffine et débités en coupes. Sur ces préparations, les structures cellulaires de type nerveux apparaissent imprégnées d'une manière tout à fait élective.

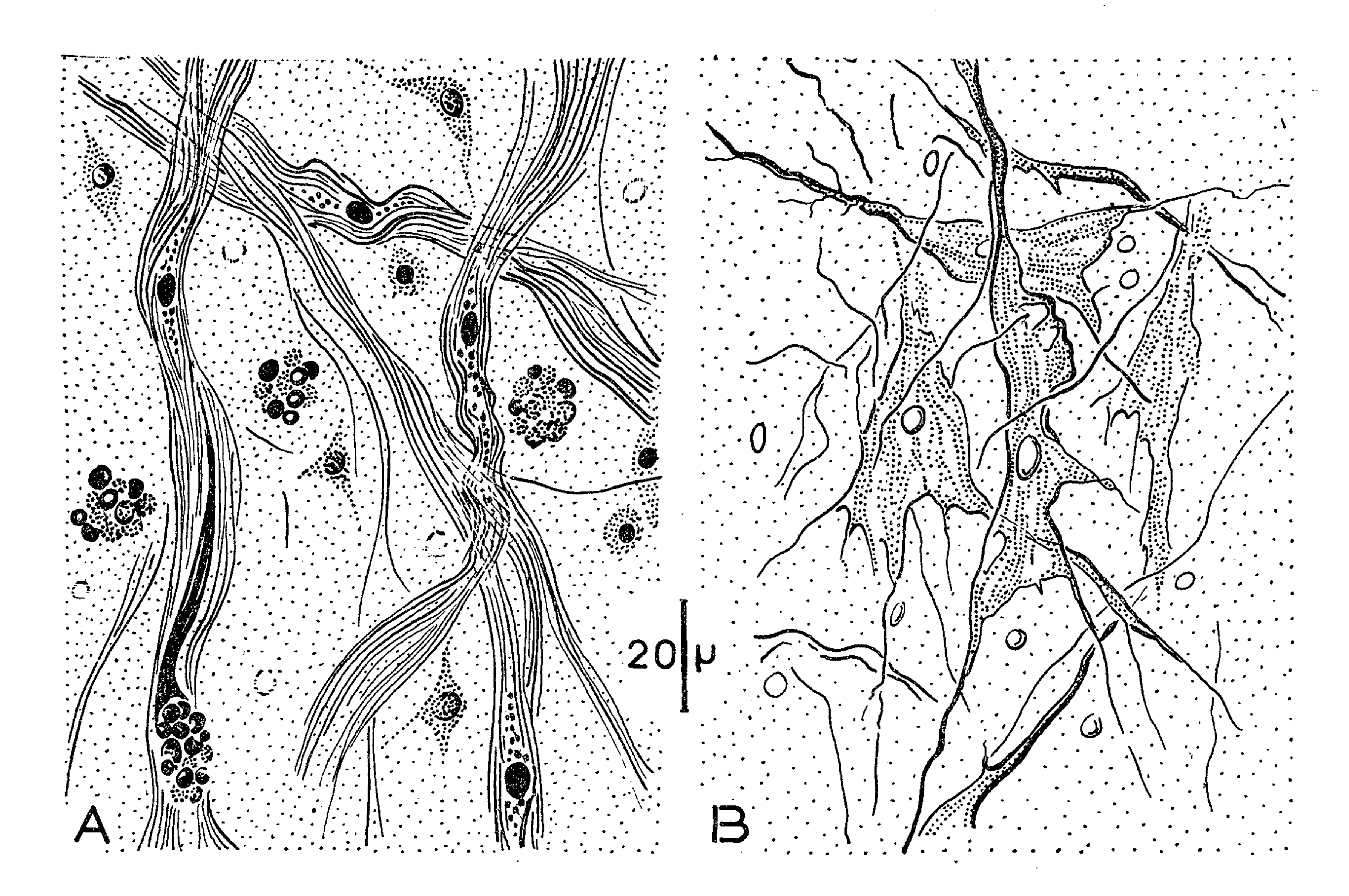
Nous voyons ainsi des cellules de grande taille (*fig.* B) dont les expansions constituent des réseaux dans la couche la plus profonde du cortex de l'Éponge. *Dans le cytoplasme de ces éléments*, dont le rapport nucléoplasmique est toujours très faible, *il est possible d'observer des fibrilles ténues, très distinctement colorées par l'argent*, qui parcourent tout le corps cellulaire. Ces cellules possèdent enfin de nombreux prolongements qui, fortement imprégnés, semblent former une véritable trame anastomotique.

C'est surtout au voisinage des canaux aquifères qui traversent l'ectosome de *Tethya* que ces structures sont les plus abondantes. Elles y sont intimement mêlées aux formations musculaires et fibreuses qui dominent en ces territoires et qui imposent souvent à toutes les autres cellules (conjonctives fixes, ambioïdes, etc.) l'orientation de leurs propres faisceaux. Ces éléments musculaires et fibreux ont été décrits, chez *Tethya lyncurium*, par Tuzet et Paris ([3]) et correspondent au terme d'évolution des lophocytes, ces « cellules à pinceau » dont ils présentent l'affinité pour les colorants sélectifs comme le bleu d'aniline (*fig.* A).

Outre les aspects radicalement distincts, c'est une différence de techniques histologiques qui permet de séparer : d'une part, les cellules de type nerveux, à fibrilles intracytoplasmiques argyrophiles, et constituant un reticulum mis en évidence par la réaction de Cajal :

d'autre part, les formations de type musculaire lisse, avec tous les termes de passage entre le lophocyte originel et la cellule fusiforme terminale, qui répondent aux colorations sélectives ordinaires.

Les interrogations qui demeurent sont alors relatives aux fonctions des cellules argyrophiles, très nombreuses dans les réseaux qu'elles établissent, et aux rapports qui existent entre ces cellules et les éléments



musculaires avec lesquels elles s'intriquent. Nous espérons pouvoir apporter ces éclaircissements nécessaires par des études physiologiques en cours. En effet, chez *Tethya lyncurium*, nous avons pu analyser quelques phénomènes mécaniques de motricité et, par ailleurs, enregistrer des potentiels de membrane et des activités électriques. Assez complexes pour justifier des recherches et des publications ultérieures, ces analyses doivent cependant être fondées sur les observations que nous communiquons ici.

(*) Séance du 17 octobre 1960.
(1) *Ann. Sc. Nat., Zool.*, 17, 1955, p. 203-288.
(2) *Ann. Sc. Nat., Zool.*, 1, 1959, p. 105-112.
(3) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 3088.

(*Laboratoire de Zoologie générale, Faculté des Sciences, Lyon.*)

BIOLOGIE. — *Technique coprologique : récolte des selles d'*Apis mellifica. Note (*) de M. **Maurice Mathis**, présentée par M. Émile Roubaud.

Données nouvelles sur la coprologie des abeilles, à l'extérieur et dans la ruche.

Au début du printemps, il est dangereux d'étendre du linge à sécher aux alentours d'un rucher parce qu'il est rapidement souillé de taches jaunâtres : selles diarrhéiques émises par les abeilles en plein vol. En 1910 Sylviac ([1]) notait : *Une déjection excrémentielle liquide est, chez l'abeille, le signe d'un état pathologique; à l'état normal, elle est presque sèche et ressemble à de très petites granulations... le renfort de* 1 *ou* 2 kg *de provisions donnés à l'automne occasionne presque toujours une forte dysenterie. L'intérieur de la ruche sent mauvais.*

Ces déjections s'accompagnent de troubles physiologiques d'origine microbienne, parfois difficile à définir ([2]). En 1942 ([3]), je traitais quelques colonies d'abeilles avec des sulfamides; j'obtenais un arrêt très rapide du dévoiement, mais ces insectes sociaux étant plus « *thermoeciques* » que « *trophobiotiques* » ([4]), il m'était impossible — en dehors de la dissection — de savoir exactement la dose parvenant jusqu'à l'ampoule rectale très souvent vide. A l'étuve en microruche ([5]) on obtient bien des crottes noirâtres des abeilles d'une colonie traitée, mais ces insectes ne sont-ils pas dans des conditions anormales d'inconfort ?

Étudiant à Munich, en 1952, le dressage des abeilles — technique mise au point par Karl von Frisch ([6]) — quel ne fut pas mon étonnement de voir, de temps en temps, de rares crottes émises par les abeilles-butineuses qui se posaient près de la coupelle-chantier. Des abeilles saines n'émettaient donc pas la totalité de leurs matières fécales en plein vol. Pour augmenter le nombre des crottes émises par quelques abeilles numérotées, il s'agissait d'en amorcer plusieurs centaines.

La coupelle-chantier ne contenant que 2 à 5 ml de sirop de sucre, je devais en réaliser une beaucoup plus grande, en évitant, bien entendu, la noyade des insectes. Après des années d'essais, je suis arrivé à utiliser un verre rempli de sirop, simplement posé renversé dans une assiette; une petite cale glissée sous le rebord du verre permet l'entrée des bulles d'air quand le sirop a été pompé (ou léché) par les butineuses. Pour exciter l'attraction des abeilles de la ruche amorcée, je suis passé de 342 g de saccharose, par litre, à 500 et 1000. Le sucre cristallisé simplement humecté de Julien Françon ([7]) ne convient pas et le miel attire trop de pillardes étrangères. Un morceau de papier qui peut être stérile, glissé entre le verre et l'assiette, permet de récolter et de conserver les crottes émises.

A Paris même, en amorçant une très petite colonie — quelques milliers d'abeilles —, je suis arrivé à récolter des centaines de crottes en quelques heures.

Chaque crotte, détachée du papier au scalpel, mise dans une goutte d'eau stérile, peut être dissociée, recouverte d'une lamelle et examinée au microscope. Elle révèle la présence de grains de pollen : intacts, vides ou délabrés ([8]).

Cette nouvelle technique coprologique met en évidence un fait nouveau : *Apis mellifica*, non atteinte de dévoiement, ne défèque pas en totalité en plein vol, mais aussi quand elle est posée et s'apprête à butiner. Les crottes émises sont noirâtres mais à peu près stériles; une cinquantaine de selles dissociées dans de l'eau stérile ont donné, après 48 h, sur gélose liquéfiée, solidifiée en boîte de Pétri, 28 colonies identiques de staphylocoques ([9]).

En amorçant les abeilles d'une ruche et en portant le verre renversé à une certaine distance, on peut récolter des centaines de crottes, à l'heure qu'on veut, des abeilles de cette seule ruche. Deux conditions sont essentielles : le marquage des abeilles dès le départ de l'expérience, la surveillance du verre pour tuer les pillardes qui ne seront jamais attirées si le sirop est de saccharose pur (jamais de miel) et le verre changé par un autre, propre, pour éliminer les empreintes olfactives des pattes des insectes butineurs. Par ailleurs, la ruche amorcée doit pouvoir retenir prisonnières toutes les abeilles dès qu'on soupçonne la présence des pillardes. Tous les matins on vérifiera l'absence de celles-ci en exposant le verre-chantier pendant une demi-heure avant de libérer les abeilles de la ruche qu'on étudie; les quantités de sirop absorbé pourront être évaluées exactement d'heure en heure, elles peuvent varier de 100 à 500, 1000 ml en moins de 30 mn.

Je montrerai, dans une autre Note, l'utilisation des crottes par les abeilles elles-mêmes quand en raison du froid ou de certaines circonstances elles sont obligées de déféquer dans la ruche. Avec des insectes physiologiquement normaux, l'intérieur de la ruche ne doit jamais sentir mauvais (dysenterie de Sylviac).

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) *L'apiculture simpliste*, Sylviac, Paris, 1910.

([2]) C. Toumanoff, *Les Maladies des abeilles* (*Revue française d'Apiculture*, 1951).

([3]) *Ann. Inst. Pasteur*, 68, janvier 1942, p. 79.

([4]) *Comptes rendus*, 151, 1910, p. 553.

([5]) M. Mathis, *Vie et Mœurs des abeilles*, Payot, 1951.

([6]) Karl von Frisch, *Aus dem Leben der Bienen*, Springer-Verlag, Berlin, 1953.

([7]) J. Françon, *L'Esprit des abeilles*, Galimard, 1938.

([8]) Les examens de contrôle ont été faits par MM. Louveaux et Louis à la Station apicole de Bures-sur-Yvette et à l'Institut Pasteur à Paris par le Professeur C. Toumanoff.

([9]) Résultats du Professeur Dumas.

BIOLOGIE. — *Envenimation expérimentale du Lapin par injection intracérébrale d'un venin d'Elapidæ.* Note (*) de MM. **Paul Guyot** et **Paul Boquet**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Le tissu nerveux du Lapin est d'une extrême sensibilité au venin d'un Elapidæ : *Naja nigricollis*, mais les symptômes de l'envenimation expérimentale diffèrent suivant que le poison est injecté dans la veine de l'animal ou introduit dans son cerveau.

L'intoxication expérimentale des petits mammifères éprouvés par l'injection d'un venin d'Elapidæ, dans une veine ou sous la peau, est caractérisée par une paralysie des muscles striés et l'arrêt de la respiration.

Deux hypothèses ont été émises, à la fin du siècle dernier, sur l'origine de ces phénomènes. Selon T. Aron (1883) l'arrêt de la respiration résulte d'une action du venin sur les centres nerveux, mais, selon V. Ragotzi (1890), le même venin aurait pour effet d'altérer la conductivité des ramifications terminales des nerfs moteurs des muscles et, de ce fait, d'abolir la respiration.

Les expériences dont nous présentons ci-dessous les résultats ont pour objet d'analyser le mécanisme de l'action, sur le système nerveux, d'un venin d'Elapidæ : *Naja nigricollis* d'Afrique orientale.

Un poids déterminé de ce venin est dissous dans un volume de solution physiologique de chlorure de sodium défini par les conditions de l'épreuve. La solution de venin est débarrassée de ses impuretés par filtration à travers un disque stérilisant « Simoneton WST ». Des volumes décroissants de cette solution sont injectés dans la veine auriculaire et dans le cerveau de lapins pesant de 2 à 3 kg.

Administré, à la dose de 350 µg par kilogramme d'animal, par une injection dans la veine auriculaire, le venin de *Naja nigricollis* tue le lapin en quelques heures.

Peu après l'injection, l'animal mobilise avec difficulté ses pattes postérieures puis la paralysie s'étend aux quatre membres, aux muscles du cou, enfin aux muscles du thorax et du diaphragme. La respiration cesse et l'animal meurt asphyxié. Son cœur bat pendant quelques minutes après l'arrêt de la respiration.

Selon T. L. Bruneton et J. Fayrer (1873), R. H. Elliot (1904), D. Epstein (1930), K. Venkachalam et A. N. Ratnagiriswaran (1934) suivi de Ch. Kellaway (1937), dont les expériences sont demeurées des exemples classiques, le mécanisme de ces paralysies est comparable à celui des paralysies par le curare.

Les symptômes diffèrent lorsque le venin est introduit dans le cerveau. L'injection intracérébrale est faite suivant la technique de P. Guyot.

Voici en quoi elle consiste : on trépane les animaux en un point situé sur le segment de droite qui unit le bord postérieur des orbites à 8 mm et à droite de la suture médiane. La paroi osseuse est perforée au moyen d'une fraise n° 0 de stomatologiste. Par l'orifice du conduit ainsi obtenu, une aiguille de 10 mm de longueur et de 0,2 mm de diamètre est introduite verticalement. Celle-ci traverse successivement la partie sus-ventriculaire de l'hémisphère cérébral droit, le ventricule latéral, la région sous-ventriculaire et parvient enfin au voisinage de la corne d'Ammon. A l'aide d'une seringue de grande précision reliée à l'aiguille par un élément intermédiaire en matière plastique souple on injecte lentement la solution de venin sous un volume qui n'excède pas 0,02 ml. Cette technique évite toute dilacération de la substance nerveuse.

Il suffit d'injecter ainsi 3 à 3,5 μg de venin de *Naja nigricollis* par kilogramme d'animal, soit la centième partie de la plus petite dose de ce poison, mortelle pour le lapin lorsqu'elle est administrée par la voie veineuse, pour tuer ce rongeur en moins de 24 h. Des doses plus faibles ne sont pas léthales, mais des quantités plus fortes réduisent la durée de l'envenimation à 3 h environ.

Aussitôt après l'injection, l'animal reste immobile, inquiet. Au bout de 20 à 30 mn, ses muscles sont secoués par des contractions souvent plus intenses à gauche qu'à droite, puis il présente des accès d'agitation pendant lesquels il court d'une manière désordonnée, méconnaissant les obstacles, et tournant en rond dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. La contracture unilatérale dont il est atteint par moments réalise un spasme de torsion à concavité gauche. Des crises convulsives locales, du côté gauche, ou générales, s'observent également. L'agitation et les crises convulsives atteignent leur paroxysme puis elles se calment. Ces phases d'excitation motrice et de dépression alternent pendant toute la durée de l'intoxication. Souvent l'animal meurt en « étant de mal », mais à aucun moment celui-ci n'est paralysé comme le sont les lapins éprouvés par une injection de venin dans la veine auriculaire.

D'une manière générale, le venin de *Naja nigricollis* injecté à faibles doses dans le cerveau du lapin ne perturbe pas d'emblée la respiration. Parfois, cependant, on assiste à une altération précoce du rythme respiratoire. On est alors conduit à penser qu'une partie du venin injecté a reflué vers le bulbe. La coloration du tissu cérébral au voisinage de la corne d'Ammon, celle des espaces épendymaires, des ventricules et de l'aqueduc Sylvius, produites par l'injection de 0,02 ml d'une solution concentrée de bleu trypan dans le cerveau de lapins sacrifiés quelques heures plus tard, tendent à confirmer cette hypothèse.

Ni la solution physiologique usuelle de chlorure de sodium, telle quelle, ni une solution à 25 % de polyvinyl-pyrrolidone, n'ont d'effet nocif lorsqu'elles sont injectées sous le même volume que le venin dans le lobe temporal droit des animaux pris pour témoins.

Il est ainsi démontré que le venin de *Naja nigricollis*, à dose infime, est dépourvu d'action curarisante lorsqu'il est porté directement au contact du tissu cérébral des animaux expérimentalement envenimés, mais qu'il exerce une action nocive sur les centres nerveux.

Si l'on se réfère aux expériences par lesquelles A. Calmette [1] démontrait en 1907 la propriété que possède le cerveau des mammifères de fixer *in vitro* le venin de Cobra, on est autorisé à penser que le poison de *Naja nigricollis* se fixe sur des récepteurs nerveux spécifiques comparables aux récepteurs de la toxine tétanique récemment découverts par W. E. Van Heyningen [2].

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) A. CALMETTE, Les venins, les animaux venimeux et la sérothérapie antivenimeuse, 1 vol., Masson et Cie, Paris, 1907, p. 194-195.

(2) W. E. VAN HEYNINGEN, *Ann. Inst. Pasteur*, 94, 1959, p. 733-741.

(Institut Pasteur, Garches; Hôpital psychiatrique, Bégard.)

BIOLOGIE CELLULAIRE. — *Production dans des cultures* in vitro *de deux souches cellulaires en association, de cellules de caratère « hybride »*. Note de MM. **Georges Barski, Serge Sorieul** et Mlle **Francine Cornefert**, présentée par M. Emmanuel Fauré-Fremiet.

L'association prolongée en cultures *in vitro* de deux souches de cellules somatiques de souris ayant des caractères marqueurs distincts, a permis la mise en évidence d'un nouveau type cellulaire cumulant les chromosomes et les caractères biologiques des deux composants.

Sanford et coll. (1) ont obtenu à partir d'un clone cellulaire provenant du tissu sous-cutané normal de souris C 3 H, plusieurs subclones différant entre eux par des caractéristiques morphologiques, biochimiques et cancérigènes.

Dans un travail récent (2) nous avons analysé comparativement des lignées cellulaires provenant de deux de ces subclones, NCTC 2472 (N 1), hautement cancéreux et NZTC 2555 (N 2) à très faible pouvoir tumoral.

Ces deux clones et les souches secondaires respectives qui en dérivent après passage par l'animal, différent entre eux par la morphologie et le comportement de leurs cellules *in vitro*, leurs caractéristiques chromosomiques, l'aspect histologique et l'évolution des tumeurs qui en résultent.

L'analyse des mitoses a révélé pour le clone N 1, un nombre modal de 55 chromosomes, avec une dispersion entre les valeurs 51 et 57. Sauf rares exceptions, tous les chromosomes étaient télocentriques dont un extra long observé dans presque tous les cas. La morphologie, le caryotype et la malignité de la N 1 sont restés dans l'ensemble les mêmes par rapport aux descriptions de Chu et Sanford (3), et dans notre laboratoire au cours de 18 mois de culture *in vitro*, et à la suite de sept passages consécutifs sur l'animal.

Pour le clone N 2, le nombre modal de chromosomes a été trouvé égal à 62, la variation allant de 54 à 67. Aucun télocentrique extra-long n'a été trouvé. Le nombre modal de métacentriques était 13, la variation de 9 à 19.

Les caryotypes de deux souches secondaires dérivées de la N 2 après passage sur l'animal se sont peu modifiés.

Ayant dégagé ces caractéristiques distinctives, nous avons envisagé le problème des possibilités de transfert de caractères entre ces souches. Nous avons dans ce but, entre autres expériences, associé *in vitro* dans deux essais parallèles :

1° Exp. MS : 10^6 cell. N 1 T (dérivé du clone N 1) + 10^6 cellules du clone N 2.

2° Exp. MT : 10^6 cell. N 1 T + 10^6 cell. N 2 T (dérivé du clone N 2).

Ces populations mixtes ont été maintenues en cultures massives pendant plusieurs mois. Les constatations suivantes résultent de l'observation directe de ces cultures, ainsi que de l'étude qualitative et quantitative de mitoses, cette dernière résumée dans le tableau I.

TABLEAU I.

Expérience.	Jours après début de culture mixte.	Total.	Nombre de mitoses identifiées. Type N 1. 1 xX (*).	2 xX.	4 xX.	Type N 2. 1 xX.	2 xX.	4 xX.	Type M.
	122	75	15	13	2	32	13	0	0
« MT »	126	29	4	6	1	12	4	0	2
Population cell. mixte	147	97	12	22	1	15	23	1	23
N 1 T + N 2 T	173	87	2	6	0	7	7	1	64
établie le 9 décembre 1959	204	115	0	6	0	23	2	0	84
	227	68	0	1	0	41	2	0	24
« MS »	55	57	10	12	2	29	4	0	0
Population cell. mixte	104	230	0	1	1	180	27	0	21
N 1 T + N 2	139	54	0	4	1	38	3	2	6
établie le 8 février 1960	157	226	0	1	0	151	9	0	69

(*) X, garniture chromosomique de valeur hypotétraploïde : en moyenne pour le type N 1, 55; le type N 2, 62 chromosomes. Nombre moyen pour le type M, 115 chromosomes.

1° La concurrence dans les populations a montré dans les deux cas un avantage sélectif des cellules de type N 2 et également des cellules à haut degré de polyploïdie.

2° L'aspect morphologique de ces populations mixtes concorde avec les observations ci-dessus : disparition des cellules fusiformes caractéristiques de la N 1, augmentation de la taille moyenne des noyaux.

Vers le 4e mois de l'expérience MT et vers le 3e dans l'expérience MS, on a pu enregistrer un phénomène inattendu : apparition d'un nouveau type cellulaire M comportant pour l'expérience MT : de 103 à 125 chromosomes, (valeur modale, 115-116) de 9 à 15 métacentriques et un chromosome télocentrique extra-long présent dans 45 métaphases sur 48 étudiées en détail. Les cellules M apparues dans l'expérience MS étaient similaires à celles de l'expérience MT.

Dans un cas, on a pu identifier tous les métacentriques d'une mitose M, après construction d'idiogrammes, à ceux d'une mitose de type N 2.

Lorsque les deux populations mixtes eurent atteint un stade où elles étaient composées essentiellement de cellules de type N 2 et de type M, nous avons procédé à des inoculations à des souris C 3 H. Dans les deux cas, MS et MT, nous avons obtenu des tumeurs proliférantes dans une proportion élevée de souris (6/7 et 12/12).

Les courbes de croissance de ces tumeurs étaient proches de celles des tumeurs N 1, très différentes de celles des tumeurs « lentes » N 2.

A l'examen histologique, on a trouvé une croissance envahissante très bien vascularisée souvent structurée en lobules et d'aspect général différent aussi bien du sarcome fusicellulaire de type N 1 que du sarcome anaplasique à petites cellules rondes de type N 2.

La taille moyenne des noyaux cellulaires des tumeurs M dépassait largement celle des tumeurs produites par les souches N 1 et N 2.

Cinq tumeurs MS et deux tumeurs MT ont été explantées *in vitro* et l'analyse chromosomique de six de ces lignées a montré des cellules dérivées du type M avec une tendance à la perte de chromosomes et une augmentation de la variabilité.

Dans deux de ces six lignées, on a décelé également des cellules dérivées du type N 1, mais jamais on n'a constaté la persistance après passage sur l'animal des cellules du type N 2.

Conclusions. — La morphologie, le pouvoir cancéreux, le caractère « hybride » du caryotype des cellules M, nous conduisent à envisager l'hypothèse selon laquelle ces cellules résultent de la fusion de deux éléments cellulaires d'origine différente.

Les observations faites *in vitro*, sur différentes cellules, par Lewis (4) et d'autres auteurs (5) montrent que cette interprétation n'est pas invraisemblable.

Ces phénomènes sont sans doute rares, difficiles à suivre directement et leurs conséquences génétiques et biologiques nous échappent dans des cultures habituelles de souches sauvages hétérogènes, ou de clones homogènes, puisque les cellules qui en résultent ne se distinguent en rien des cellules issues d'endo-reduplications ou de C-mitoses.

Pour pouvoir mettre le phénomène en évidence, il faut assurément que plusieurs conditions soient réunies : caractères biologiques propres aux cellules destinées à fusionner, relativement constants et suffisamment distincts, caractéristiques chromosomiques suffisamment différentes et stables, et enfin, avantage sélectif du nouveau type cellulaire par rapport aux cellules d'origine.

Dans les circonstances de nos expériences, toutes ces conditions se sont trouvées réunies, et nous leur devons probablement la mise en évidence de ce phénomène auquel on peut prévoir des conséquences biologiques importantes.

(1) K. K. Sanford, G. D. Likely et W. R. Earle, *J. Nat. Cancer Inst.*, 15, 1954, p. 215.
(2) G. Barski, J. L. Biedler et Fr. Cornefert, 1960 (sous presse).
(3) E. H. Y. Chu, K. K. Sanford et W. R. Earle, *J. Nat. Cancer Inst.*, 21, 1958, p. 729.
(4) W. H. Lewis, *Amer. Rev. Tuber*, 15, 1927, p. 616.
(5) R. Lettre et W. Siebs, Communication personnelle, 1960.

(*Institut Gustave Roussy, Laboratoire de Culture de Tissus et de Virologie, Villejuif, Seine.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Antagonismes spécifiques entre des analogues structuraux de pyrimidines et des cofacteurs oligosaccharidiques dans l'adaptation respiratoire de la levure* ([1]). Note (*) de Mme **Lucienne Audrain-Legault-Demare**, MM. **Piotr. P. Slonimski**, **Jacques Defaye** et **Edgar Lederer**, présentée par M. Georges Champetier.

Deux analogues structuraux des pyrimidines (6-azauracile et 2-thiocytosine) inhibent l'adaptation respiratoire de la levure « hautement adaptable ». Deux fractions de nature oligosaccharidique, obtenues à partir du D-glucose ou du D-érythrose, et connues pour stimuler l'adaptation respiratoire de levures « peu adaptables », empêchent l'effet inhibiteur des deux analogues des pyrimidines. Cet antagonisme est spécifique : le cofacteur issu du D-glucose agit seulement vis-à-vis du 6-azauracile, tandis que celui issu du D-érythrose agit seulement vis-à-vis de la 2-thiocytosine.

Dans la Note précédente il a été montré que deux analogues structuraux des pyrimidines, le 6-azauracile et la 2-thiocytosine, inhibent l'adaptation respiratoire de la levure ([2]). On sait d'autre part que certains facteurs oligosaccharidiques stimulent l'adaptation respiratoire de levures « peu adaptables » ([3]), ([5]). La nature chimique et la préparation des cofacteurs ont fait l'objet de travaux antérieurs ([3]), ([5]).

Les deux cofacteurs étudiés ici sont les fractions oligosacchacidiques préparées soit à partir du D-glucose, soit à partir du D-érythrose. Il a été vérifié qu'ils sont sans effet sur la respiration des cellules adaptées, ainsi que sur l'adaptation de cellules « hautement adaptables ». Les deux points suivants sont donc acquis :

1° ces deux oligosaccharides *stimulent* l'adaptation respiratoire de levures « peu adaptables » ([3]), ([5]);

2° les deux analogues de pyrimidines *inhibent* l'adaptation respiratoire de cellules « hautement adaptables » ([2]).

Le problème est de savoir si chacun des oligosaccharides interfère, et de quelle manière, avec l'inhibition provoquée par chacun des analogues.

Les conditions d'expérience de ce travail demeurent celles de la Note précédente ([2]); l'oligosaccharide est ajouté aux levures en même temps que l'analogue des pyrimidines, au début de l'admission de l'air. L'expérience présentée dans le tableau montre l'existence d'une interaction et son caractère remarquablement spécifique. En effet, l'oligosaccharide issu du D-glucose lève l'inhibition provoquée par le 6-azauracile, mais demeure pratiquement sans effet, même à une dose plus élevée, sur l'inhibition due à la 2-thiocytosine. Avec l'oligosaccharide issu du D-érythrose, les résultats sont inversés: il lève seulement l'inhibition provoquée par la 2-thiocytosine alors qu'il accroît même l'inhibition obtenue par le 6-azauracile.

Cette expérience a été réalisée sur des échantillons de levure provenant de la même culture anaérobie. Lorsqu'on s'adresse à des cultures anaérobies différentes on observe des variations quantitatives du degré d'inhibition

Effet différentiel des cofacteurs oligosaccharidiques sur la levée d'inhibition due aux analogues des pyrimidines.

Conditions.	Adaptation (µl O_2/mg de poids sec) (*).	Inhibition par l'analogue (**).	Levée d'inhibition par l'oligosaccharide (***).
Témoin	252	–	–
+ 6-AU	110 ± 1	142	–
+ 6-AU + oligo DG 0,10 mg/ml	157 ± 3	–	47
+ 6-AU + oligo DE 0,10 mg/ml	84	–	0 (– 26)
+ 2-TC	185 ± 3	67	–
+ 2-TC + oligo DG 0,25 mg/ml	193 ± 3	–	8
+ 2-TC + oligo DE 0,10 mg/ml	251 ± 6	–	66

Adaptation de la souche Yeast Foam, « grande » à 28°, pendant 6 h, en tampon phosphate-succinate-phtalate, pH 4,5, glucosé à 20 mg/ml. 6-AU : $1,3.10^{-3}$ M de 6-azauracile; 2-TC : $2,0.10^{-3}$ M de 2-thiocytosine; oligo DG : oligosaccharide préparé par traitement acide à partir de D-glucose selon (3). Oligo DE : oligosaccharide préparé par traitement acide à partir de D-érythrose selon (5).

(*) Moyenne des valeurs obtenues pour l'adaptation de deux échantillons de la même levure.
(**) Différence entre la valeur du témoin et celle obtenue en présence d'analogue.
(***) Différence entre la valeur obtenue en présence d'analogue et celle obtenue en présence d'analogue et d'oligosaccharide.

obtenu par les analogues des pyrimidines, ainsi que de l'ampleur de l'antagonisme dû à l'oligosaccharide. En dépit de ces variations on observe toujours une relation spécifique, d'une part entre le 6-azauracile et l'oligosaccharide issu du D-glucose, d'autre part, entre la 2-thiocytosine et l'oligosaccharide issu du D-érythrose.

Pour expliquer cet antagonisme deux interprétations sont également concevables : 1° l'oligosaccharide peut éliminer spécifiquement l'analogue des pyrimidines par un mécanisme tel par exemple la formation d'un composé, lui-même dépourvu d'action inhibitrice; 2° l'oligosaccharide peut stimuler spécifiquement la formation d'un métabolite naturel. Ce métabolite pourrait être soit la pyrimidine elle-même, uracile ou cytosine selon l'oligosaccharide, soit un dérivé de cette dernière. Il est prématuré de formuler un choix; pourtant les résultats obtenus sur la levure « peu adaptable » en absence d'analogue de pyrimidines pourraient être en faveur de la deuxième hypothèse. Il serait intéressant d'étendre l'étude des interactions de ce type; interactions entre certains cofacteurs oligosaccharidiques (5) et d'autres bases d'acides nucléiques, en particulier les purines (4).

(*) Séance du 17 octobre 1960.
(1) 4e Communication sur la nature chimique des substances qui stimulent la formation des enzymes respiratoires chez la levure. 3e Communication (2).

([2]) L. AUDRAIN-LEGAULT-DEMARE et P. P. SLONIMSKI, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 1588.

([3]) P. P. SLONIMSKI, J. DEFAYE, J. ASSELINEAU et E. LEDERER, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 192.

([4]) P. P. SLONIMSKI et H. DE ROBICHON-SZULMAJSTER, *Ciba Found. Symp. on Drug Resistance*, 1957, p. 210-230.

([5]) J. DEFAYE, P. P. SLONIMSKI, G. PERRODIN et E. LEDERER, *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 817.

(Laboratoire de Chimie biologique de la Faculté des Sciences de Paris; Laboratoire de Génétique physiologique du Centre National de la Recherche Scientifique à Gif-sur-Yvette, Seine-et-Oise; Institut de Biologie physicochimique, Paris.)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Dégradation du phosphatidyl-inositol du germe de blé par l'acide acétique. Structure de ce phosphatide.* Note (*) de M. **Jean Lecocq** et Mme **Marie-Josèphe Coulon-Morelec**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

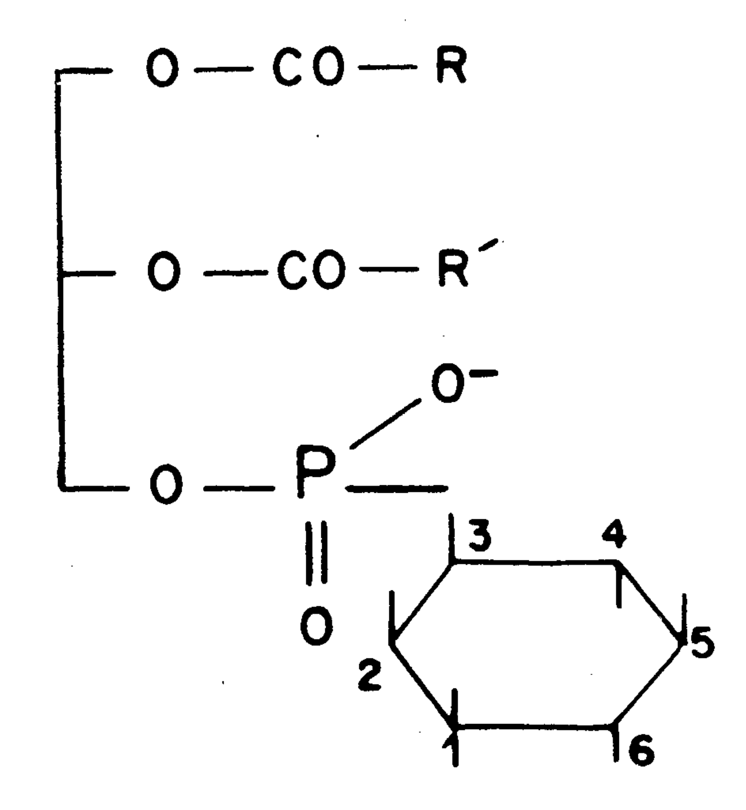
On montre que, dans ce phosphatide, comme dans ceux du soja et du foie de cheval, l'inositol est lié au phosphate par son hydroxyle-3. Le diester acidostable formé à côté du phosphate cyclique-1 (3), 2 lors de la dégradation par l'acide acétique est un ester monométhylique d'inositol-monophosphate; c'est un artefact de préparation.

Nous avons rapporté précédemment ([1]) que le phosphatidyl-inositol du germe de blé se laisse dégrader par l'acide acétique chaud en un diglycéride et un diester monophosphorique de méso-inositol, optiquement actif. Nous avons ensuite montré ([2]) que cet inositol phosphate est l'ester phosphorique cyclique-1 (3), 2 et nous en avons conclu que, dans le phosphatide, le phosphate estérifie l'hydroxyle-1 ou 3 de l'inositol ([3]); il restait à préciser ce point. De plus, nous avons voulu déterminer la nature d'un autre diester, plus stable à l'hydrolyse, présent à côté de l'ester cyclique.

En ce qui concerne ([2]) ce diester relativement stable qui consomme 7 mol d'acide periodique (P. I.) ([4]) par atome de phosphore, nous avons noté qu'en opérant en tampon maléate M/10, pH 5,8, une oxydation complète (5 jours, consommation de 7 P. I.) ne s'accompagne cependant pas de la minéralisation du phosphore, contrairement à ce qu'on a avec l'inositol-2-phosphate. Ces résultats rendent très improbable l'hypothèse que nous avions avancée d'un phosphate cyclique à six chaînons; nous avons envisagé l'existence d'un ester méthylique ou éthylique d'inositol monophosphate (IMP), artefact résultant de la présence de méthanol ou d'éthanol dans le milieu durant le traitement du phosphatide. Cette hypothèse a été vérifiée : l'hydrolyse acide poussée (HCl 1 N à 100° pendant 4 h) s'accompagne d'une libération de méthanol qu'on caractérise, après oxydation en aldéhyde formique, grâce à la coloration donnée par l'acide chromotropique. Le dosage colorimétrique basé sur cette réaction donne sensiblement la quantité de méthanol attendue. Il apparaît donc que la fraction « acidostable » est constituée par un ester monométhylique d'IMP qui s'est vraisemblablement formé par suite de la présence, dans l'acide acétique, d'un peu de méthanol introduit involontairement avec le phosphatide. Rappelons que cet ester « acidostable » ne peut pas être différencié du phosphate cyclique dans les conditions de chromatographie sur papier que nous avions utilisées ([1]). Après oxydation periodique complète, le phosphate se trouve vraisemblablement sous la forme de méthylphosphate.

Afin de préciser la structure absolue des diesters inositophosphoriques, ester cyclique et ester méthylique, se formant dans la dégradation, nous

avons examiné différentes préparations. Nous avons d'abord observé que la rotation moléculaire (calculée pour une molécule renfermant 1 atome de phosphore) varie sans qu'il soit possible de relier les variations à la teneur en produit « acidostable ». C'est ainsi que, pour des préparations renfermant 6, 18, et 57 % de produit « acidostable », nous avons trouvé des rotations moléculaires respectives de —51, —77 et —31°. Ceci indique déjà que les diesters ont dû subir une racémisation plus ou moins poussée selon la préparation. Nous avons ensuite vérifié qu'une hydrolyse alcaline poussée (NaOH 1 N à 100° pendant 5 h) transforme complètement les diesters en IMP.



Ces IMP, examinés par chromatographie sur papier ([6]), se comportent comme un mélange d'inositol-2-phosphate et d'inositol-1 (ou 3)-phosphate. Les acides libres, obtenus par passage sur « permutite 50 », H^+, ont une rotation négative $(M)_D^{22°}$ — 15°,5 ± 0°,8 (c. 0,22 M d'après un dosage de phosphore). Après transformation en sels de bis-cyclohexylamine, ils ont une rotation positive $(M)_D^{21°}$ + 4°,6 ± 0°,6 (c. 0,29 M). Ces résultats montrent que le mélange d'IMP obtenu après hydrolyse alcaline renferme d'une manière prépondérante l'inositol-3-phosphate. En effet, ce composé a été obtenu dans les produits de dégradation du phosphatidyl-inositol du soja ([7]) et du foie de cheval ([8]). Nous trouvons un rapport des rotations de l'acide libre (rotation négative) et du sel de bis-cyclohexylamine (rotation positive) de 3,4 en assez bon accord avec les données des précédents auteurs. Il se confirme cependant que les diesters que nous avons obtenus par la dégradation acétique sont partiellement racémisés. En effet, si l'on admet que l'hydrolyse alcaline de ces diesters fournit 30 % d'inositol-2-phosphate ([6]), inactif, on peut en déduire une rotation moléculaire d'environ — 22° pour les autres IMP (acides libres), mélange d'inositol-1 et 3-phosphate. Cette rotation, approximativement deux fois plus faible que celle trouvée par les autres auteurs pour l'inositol-3-phosphate optiquement pur, montre que ce mélange renferme environ 25 % d'inositol-1-phosphate. Il est possible que cette racémisation soit due à la formation accidentelle de l'ester méthy-

lique et nous espérons pouvoir préciser ce point. Nous pensons cependant que les données présentées ici permettent de conclure que, dans le phosphatidyl-inositol du germe de blé, comme dans ceux du soja et du foie de cheval, le phosphate estérifie l'hydroxyle-3 de l'inositol selon la figure ci-contre.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) M. FAURE, M.-J. COULON-MORELEC et J. LECOCQ, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2252.

(2) J. LECOCQ, M.-J. COULON-MORELEC et M. FAURE, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 940.

(3) Numérotation du méso-inositol, *voir* figure. Par suite de la symétrie de la molécule, le 1-phosphate est l'antipode optique du 3-phosphate.

(4) Abréviations utilisées : P. I., acide periodique; IMP, inositol monophosphate.

(5) F. FEIGL, *Spot tests in organic analysis*, Elsevier, Amsterdam, 5e éd., 1956, p. 339.

(6) D. M. BROWN, G. E. HALL et R. LETTERS, *J. Chem. Soc.*, 1959, p. 3547.

(7) C. E. BALLOU et L. I. PIZER, *J. Amer. Chem. Soc.*, 81, 1959, p. 4745.

(8) D. M. BROWN, B. F. C. CLARK, G. E. HALL et R. LETTERS, *Proc. Chem. Soc.*, 1960, p. 212.

(Laboratoire de Chimie biologique,
Faculté de Pharmacie et Institut Pasteur, Paris.)

PHARMACODYNAMIE. — *Les échanges calciques rapides analysés par le calcium 45 chez le Rat.* Note (*) de M. **Jean-Claude Stoclet**, présentée par M. René Fabre.

Les échanges calciques rapides analysés par le calcium 45 chez le Rat, affectent non seulement le calcium du plasma et des espaces extracellulaires mais encore une autre fraction que la seule étude de l'équation plasmatique de ces échanges ne permet pas de définir.

Dans le but d'analyser les échanges du calcium entre le plasma et différents organes plus ou moins sensibles à la privation de cet élément, nous avons entrepris l'étude de ces phénomènes à l'aide de ^{45}Ca chez le Rat. Nous avons constaté une nette différence dans l'intensité des échanges calciques au niveau du muscle strié, de l'intestin grêle, de l'utérus et du cœur ([1]), ([2]). Le calcium de ces deux derniers étant déjà renouvelé en 30 mn, nous nous sommes demandé si ces échanges étaient circonscrits aux espaces extracellulaires. La comparaison de la répartition de ^{45}Ca et de l'isotope 24 du sodium, ion essentiellement extracellulaire ([3]), nous a conduit à la conclusion inverse; après l'administration simultanée des deux traceurs, le ^{45}Ca a envahi un volume plus grand que les espaces extracellulaires. Dès lors, il est logique d'étudier les équilibres dans des temps inférieurs à 30 mn.

Dans la présente Note, nous rapportons les résultats obtenus par l'analyse de la courbe exprimant les variations de la radioactivité spécifique (R. S.) du calcium du plasma sanguin en fonction du temps, depuis la première minute jusqu'à la 48ᵉ heure après administration du ^{45}Ca (*fig.* 1); nous recherchons les facteurs qui interviennent dans les équilibres rapides et nous en déterminons l'importance. La méthode générale utilisée et les résultats obtenus pour le cœur, l'utérus, le muscle strié sont exposés par ailleurs ([1]), ([6]).

Par des expériences portant sur 115 rats mâles de souche Wistar d'un poids de 200 ± 5 g, et recevant 15 μC de ^{45}Ca, nous avons établi que cette courbe admet l'équation suivante :

$$\text{R. S.} = 50\, e^{-49,6t} + 13\, e^{-1,00t} + 1,3\, e^{-0,184t} + 0,4\, e^{-0,025t}, \qquad (1)$$

où t est exprimé en heures et R. S. en pour-cent de l'activité injectée, ramenée au milligramme de calcium.

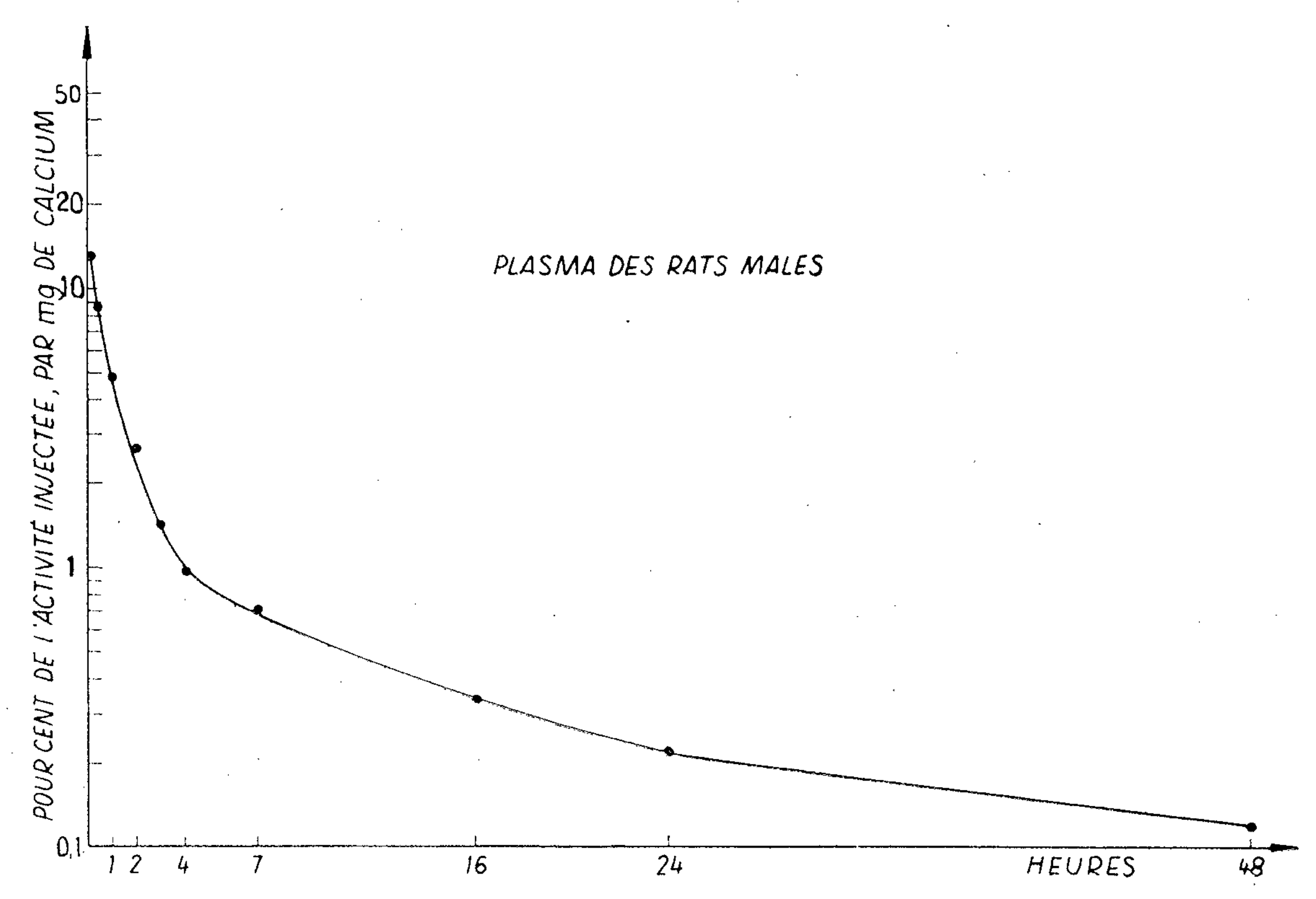
Cette équation comporte quatre termes exponentiels décroissants à chacun desquels correspond une quantité de calcium qui s'échange à une certaine vitesse. Il paraît possible de donner une signification physiologique à ces termes :

— Le premier terme $50\, e^{-49,6t}$ correspond aux équilibres rapides condi-

tionnés par deux facteurs : d'une part le volume plasmatique, d'autre part, le volume extracellulaire.

a. Volume plasmatique. — Celui-ci a été déterminé chez le Rat par une méthode originale faisant appel à la dilution des hématies marquées au chrome 51 autotransfusées [7] et à la mesure de l'hématocrite.

Cette méthode nous a permis de vérifier que dès son administration le ^{45}Ca, réparti de façon homogène entre les différentes fractions du calcium plasmatique, est dilué dans un volume supérieur au volume du plasma sanguin.



Variation de l'activité spécifique du calcium plasmatique chez le Rat mâle de 200 g de 1 mn à 48 h après l'injection de ^{45}Ca.

En effet, alors que ce volume chez le Rat est de 2,9 ml pour 100 g du poids corporel, nous avons calculé que le volume dans lequel se répartit le ^{45}Ca à l'origine est de 8,7 ml pour 100 g.

b. Volume extracellulaire. — Après avoir mesuré le volume extracellulaire (plasma et liquides extravasculaires) qui est de 27 ml pour 100 g du poids corporel chez le Rat [2], nous sommes arrivé à considérer que le ^{45}Ca est réparti dans un volume plus important, de l'ordre de 35 ml pour 100 g, à un rythme tel que cette répartition s'achève en moins de 10 mn.

— Le terme intermédiaire $13\,e^{-1,00t}$ représenterait les échanges de calcium entre le plasma et l'ensemble des tissus mous [5], [6].

— Les derniers termes $1,3\,e^{-0,184t}$ et $0,4\,e^{-0,025t}$ seraient dus aux échanges calciques entre le plasma et l'os ainsi qu'à l'excrétion [4], [5].

Il devient évident que le premier terme décrit l'échange du calcium du plasma non seulement avec celui des liquides extravasculaires, mais encore avec une autre fraction de cet élément. Il n'est pas possible à partir de

la seule équation plasmatique de tirer des conclusions particulières quant aux organes ou compartiments intéressés par cet échange. Nous montrerons dans une prochaine publication que le cœur participe à ce dernier (6).

Conclusion. — L'étude de l'équation de la courbe de décroissance en fonction du temps de la radioactivité spécifique du calcium plasmatique après administration de ^{45}Ca chez le Rat permet de mettre en évidence quatre termes exponentiels dont la signification est interprétée. Le premier de ces termes correspond aux échanges calciques rapides qui débordent le plasma et les liquides extracellulaires pour affecter immédiatement certains tissus qui ne peuvent être identifiés que par l'étude invividuelle des organes.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) J. C. STOCLET, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 974.
(2) J. C. STOCLET, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3229.
(3) F. MOREL, *Helv. Physiol. Acta*, 8, 1950, p. 52.
(4) G. C. H. BAUER, A. CARLSSON et B. LINDQUIST, *Acta physiol. Scandinavica*, 35, 1955, p. 67.
(5) J. P. AUBERT et G. MILHAUD, *Biochim. Biophys. Acta*, 39, 1960, p. 122.
(6) J. C. STOCLET, *Comptes rendus*, 249, 1960 (sous presse).
(7) Y. COHEN et J. C. STOCLET, *C. R. Soc. Biol.* (sous presse).

(*Laboratoire de Pharmacodynamie de la Faculté de Pharmacie de Paris.*)

PARASITOLOGIE. — *Adaptation à la vie tissulaire d'un Nématode Aphasmidien.* Note (*) de MM. **Alain G. Chabaud** et **Le Van Hoa**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Les Nématodes dont il est ici question ont été récoltés dans une Couleuvre Opisthoglyphe, par la Mission G. F. de Witte 1947-1949 au Parc National de l'Upemba (Congo belge). Ils portent l'étiquette : « Ganza., alt. 860 m, 28 juillet 1949. *Psammophis sibilans sibilans* (L.) ».

L'aspect général et les dimensions évoquent les Dracunculides, mais l'examen microscopique montre immédiatement qu'il s'agit d'un groupe très différent. La tête ne porte pas de véritable bouche, mais une petite bande chitinoïde très étroite, longue d'environ 15 μ. Les amphides sont très petites et proches de l'apex; les huit papilles submédianes sont plus grandes et plus postérieures, mais très plates et difficiles à voir. L'œsophage court et très étroit n'est pas formé de cellules musculaires ou glandulaires comme il est de règle, mais d'un tissu scléreux formant de petites mailles en avant et se résolvant en fibres longitudinales en arrière. Une lumière, ou du moins un axe réfringent, est perceptible en avant, mais s'estompe postérieurement. Cet œsophage ligamenteux, qui n'est évidemment pas fonctionnel, se perd sur les parois de l'intestin, transformé en trophosome. Celui-ci forme un tube cylindrique, de diamètre à peu près constant, qui suit un trajet rectiligne tout le long du corps. Cuticule très fine, non striée, sans ailes latérales. Musculature formant un manchon complet très mince, mais épaissi cependant en deux bandes longitudinales plus puissantes.

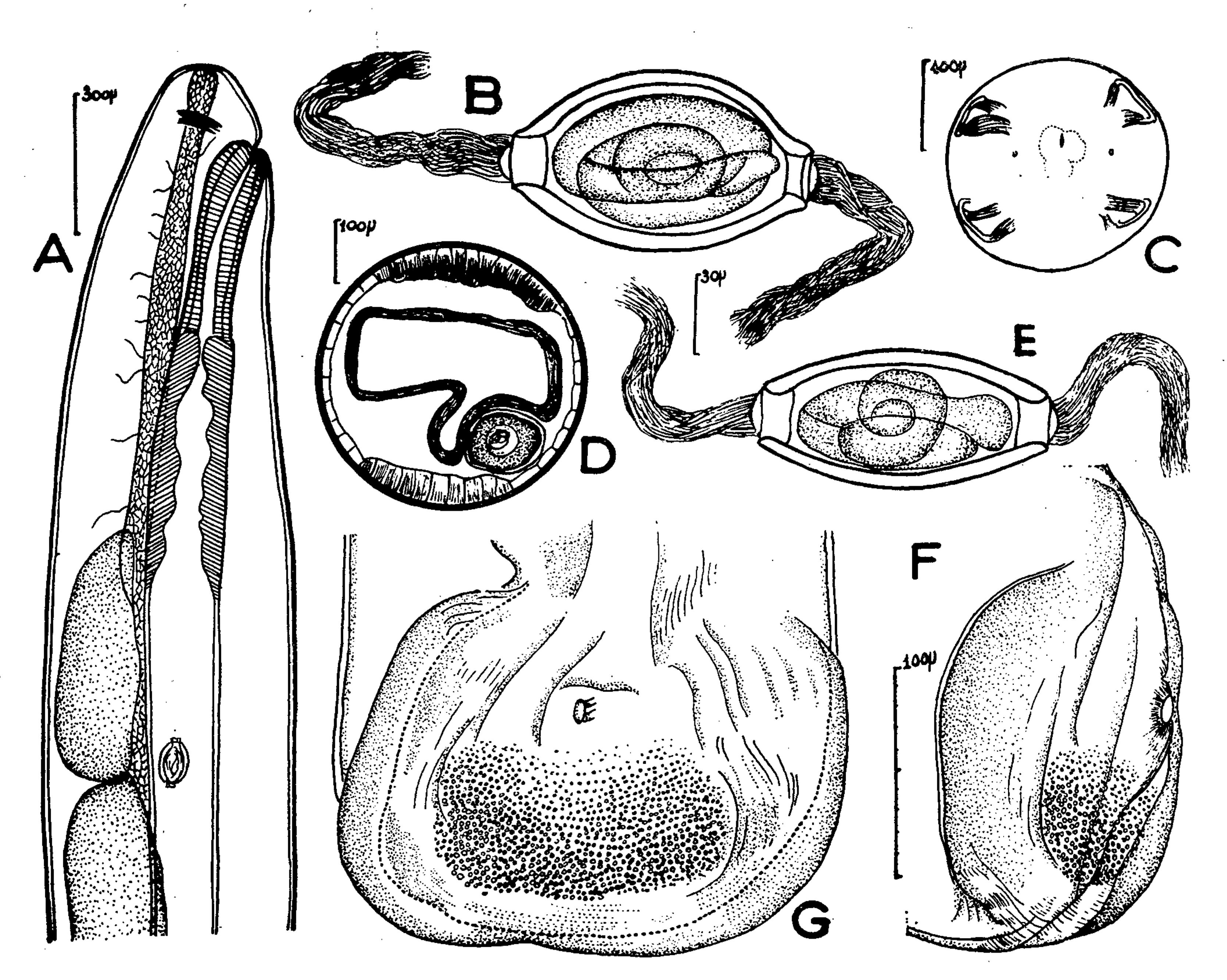
Mâle : Corps long de 9 cm, large au maximum de 310 μ. Anneau nerveux à 100 μ de l'apex. Œsophage distinct sur une longueur de 1,7 mm. Extrémité postérieure avec en avant du cloaque deux crêtes cuticulaires longitudinales subventrales longues de 1,3 mm. Queue arrondie avec ouverture génitale sur un cône légèrement saillant limité en arrière et latéralement par un bourrelet cuticulaire assez épais qui forme l'ébauche d'une ventouse, ou plus vraisemblablement les vestiges d'une ventouse péricloacale. Il n'y a pas de papilles cloacales, ni de rectum, ni de gubernaculum, ni de spicule.

Femelle : Longueur inconnue; le fragment le plus grand dont nous disposons atteint 40 cm; largeur maximale 440 μ. Œsophage distinct sur une longueur d'environ 1,6 mm. Il n'y a pas d'anus, mais l'extrémité postérieure du trophosome est liée à la paroi ventrale du corps par un ligament. La vulve s'ouvre à 190 μ de l'extrémité antérieure. L'unique tube génital s'étend directement d'avant en arrière tout le long du corps. Il présente en avant un ovéjecteur à paroi épaisse et musculeuse, long de 425 μ. L'utérus est empli d'œufs à différents stades de développement, les plus antérieurs étant seuls tout à fait mûrs. Ce sont des œufs à coque lisse et épaisse, avec un bouchon muqueux à chaque pôle, comme chez beaucoup d'Aphasmidiens, mais ils présentent trois caractères particuliers : *a.* ils ne sont pas ovoïdes, mais fortement aplatis. La longueur est de 115 μ, la largeur vue de face de 68 μ et la largeur vue de profil de 50 μ seulement; *b.* ils portent à chaque pôle, insérée autour du bouchon muqueux, une touffe de soies fines et nombreuses longues de 120 μ; *c.* Ils contiennent une larve prête à éclore.

La présence de ce Nématode chez le Serpent n'était pas connue, mais sa morphologie très évoluée indique un habitat tissulaire. Les œufs peuvent-ils être évacués dans le milieu extérieur par perforation de la peau et éclatement du corps comme chez les Dracunculides ? Cela est peu vraisemblable car seuls les œufs proches de la vulve sont mûrs. Il est

beaucoup plus probable que les femelles vivent dans un organe creux, tel que les diverticules pulmonaires, et que la ponte s'effectue comme chez les Filaires ovipares. Les filaments polaires des œufs indiquent presque certainement un hôte intermédiaire aquatique.

Le point le plus marquant de l'anatomie réside dans l'atrophie très poussée de presque tous les organes : appareil sensoriel céphalique, musculature et même spicules du mâle. L'appareil digestif est particulièrement



Dioctowittus wittei n. gen., n. sp.

A, extrémité antérieure, femelle; B, œuf, vue de face; C, tête, vue apicale; D, coupe transversale du corps; E, œuf, vue de profil; F, G, queue du mâle, vues latérale et ventrale.

intéressant car c'est un stade de transition parfait entre le tube digestif normal et le trophosome. Le seul ensemble de Nématodes de Vertébrés ayant une atrophie morphologique aussi poussée est celui de *Muspicea, Phlyctainophora, Robertdollfusia*, que nous croyons, sans en avoir de preuves tout à fait formelles, appartenir au phylum des Aphasmidiens. Mais alors que l'origine des trois genres précédents semble actuellement impossible à préciser, l'espèce étudiée plus haut présente, cette fois, des affinités nettes (structure des œufs, appareil génital femelle, ventouse caudale du mâle) avec une famille déterminée : celle des *Dioctophymatidæ*. On ne peut cependant considérer l'espèce comme intermédiaire entre les

Dioctophymes et le groupe *des Muspicea*, car ce dernier, bien qu'il ait quelques caractères analogues, a une organisation didelphe et a probablement une origine bien différente.

Nous proposons les noms et les définitions suivantes :

Dioctowittinæ nov. sub. fam.

Dioctophymatidæ avec œsophage individualisé mais non fonctionnel et intestin transformé en trophosome. Queue du mâle avec ventouse vestigiale. Spicule absent. Femelle avec vulve antérieure et œufs embryonnés. Parasite de Reptiles.

Espèce type unique : *Dioctowittus wittei* n. gen. n. sp.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

BACTÉRIOLOGIE. — *Étude du mode de fixation des colicines et des pyocines sur les bactéries sensibles.* Note (*) de M. **Yves Hamon** et Mme **Yvonne Péron**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

La quantité de colicine ou de pyocine nécessaire et suffisante pour tuer une bactérie, à un instant déterminé, paraît pouvoir exercer son activité létale successivement sur plusieurs dizaines de bactéries. Ce mécanisme d'action particulier différencie les colicines et les pyocines des bactériophages et confère, semble-t-il, une certaine originalité à cette nouvelle classe d'antibiotiques.

La fixation des colicines ([1]), ([2]) et des pyocines, comme celle des bactériophages, s'effectue au niveau d'un récepteur bactérien spécifique qui peut, dans certains cas, être commun à une colicine et à un bactériophage déterminés ([3]). Cette analogie frappante entre bactériophages et bactériocines nous a incités à étudier les caractéristiques de la fixation de quelques colicines et pyocines. Nous avons utilisé, dans ce dessein, les six colicines produites par les souches 153, K 257, K 134, TR 7, TR 21 d'*E. coli*, CL 16 de *Sh. sonnei* et les cinq pyocines élaborées par les souches 5, 6, 331, N 60 et Capuletti de *P. pyocyanea* (la plupart de ces préparations provoquaient une inhibition totale jusqu'à la dilution de 10^{-2} et une inhibition partielle à la dilution de 10^{-3} lorsqu'on les titrait sur plaque de gélose nutritive dans les conditions standard). Nous avons utilisé les souches sensibles suivantes : K 12 S et B d'*E. coli* dans nos expériences sur les colicines et P 10 et KR 130 de *P. pyocyanea* dans celles qui concernaient les pyocines. Pour étudier le phénomène de la fixation, nous avons mélangé 4,5 ml d'une culture concentrée de bactéries sensibles en phase exponentielle de croissance (0,5 à 1.10^9 bactéries/ml) avec 0,5 ml des diverses dilutions de chaque bactériocine (dilutions finales de la bactériocine : 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}). Après un séjour des divers mélanges pendant 1 h à la température du laboratoire, nous avons recherché le pourcentage d'activité létale résiduelle dans chacun des liquides surnageants après centrifugation et le nombre de bactéries tuées par les différentes dilutions de l'antibiotique [les liquides surnageants après centrifugation des mélanges ont été stérilisés par la streptomycine ou la polymyxine B) ([4])].

Nous pouvons résumer ainsi les résultats de nos expériences :

a. Lorsque la bactériocine est employée à la dilution de 10^{-1} (excès relatif de bactériocine), son titre dans le liquide surnageant ne diminue généralement pas (ou faiblement) par rapport à une suspension antibiotique ne contenant pas de bactérie, bien que toute la population microbienne soit stérilisée. Cette constatation vaut également pour les mégacines ([5]).

b. Lorsque la bactériocine est employée aux dilutions de 10^{-2} et 10^{-3} (excès de bactéries), son titre dans le liquide surnageant de centrifu-

gation diminue; bien qu'une partie de l'activité létale puisse être mise en évidence dans le culot microbien, on constate une « consommation » indiscutable de la bactériocine (fixation irréversible ou épuisement de l'activité bactéricide de l'unité active ?)

c. Les bactériocines se différencient entre elles d'après le pourcentage de cette activité létale résiduelle dans les divers mélanges (diminution importante du titre de la colicine TR 21 et de la pyocine 331, même lorsqu'elles sont employées à la dilution de 10^{-1}; diminution relativement faible du titre des colicines 153, CL 16, K 257 et de la pyocine Capuletti, pour les dilutions de 10^{-2} et 10^{-3}). Si l'on emploie des souches rendues résistantes aux colicines, aucune diminution du titre dans les surnageants n'est observée.

d. Un même volume d'une préparation de colicine ou de pyocine peut tuer 25 à 50 fois, parfois même 80 fois pour la pyocine 5, plus de bactéries en milieu liquide que sur milieu solide. Cette disparité de l'activité bactéricide selon la nature du milieu ne semble pas être causée par la présence d'agrégats d'unités létales ([6]) qui se désagrégeraient en milieu liquide; en effet, une agitation préalable pendant 2 h à 37 ou à 20° C des diverses dilutions des bactériocines n'augmente pas leur titre sur milieu solide ou en milieu liquide. Cette disparité paraît pouvoir s'expliquer de la manière suivante : l'unité létale de la bactériocine déposée à la surface de la gélose est fixée rapidement sur ce plan et ne peut exercer son action bactéricide que sur le petit nombre de bactéries situées à proximité; au contraire, cette unité active jouit en milieu liquide d'une liberté d'action dans toutes les directions de l'espace; elle peut donc entrer en collision avec un nombre élevé de bactéries et exercer, de ce fait, un pouvoir bactéricide beaucoup plus important que sur milieu solide.

Pour vérifier le bien-fondé de cette explication, nous nous sommes proposé de comparer l'action de quelques préparations de colicine (colicine 153 et TR 21) avec celle de quelques bactériophages qui exercent, sur certaines souches microbiennes, une action purement létale sans multiplication [action du bactériophage C 16 et de la colicine 153 (ou TR 21) sur *E. coli* 36; action du bactériophage T_6 et de la colicine 153 sur la souche Co 270 d'*E. coli*). Dans chaque expérience, nous avons utilisé une préparation bactériophagique et une préparation antibiotique exerçant une action bactéricide de même titre sur milieu gélosé ensemencé avec la même culture microbienne. Les modalités de la fixation des bactériophages étant bien connues (union irréversible des corpuscules sur son récepteur), nous avons pu ainsi constater que les modalités de la fixation des colicines sont différentes; en effet :

1. Alors que 99 % des bactériophages sont irréversiblement fixés dans les cultures en milieu liquide au cours du premier passage, l'activité létale

d'un même volume de préparation antibiotique ne disparaît qu'après quatre passages dans des cultures de même densité.

2. Un même volume d'une préparation de colicine et d'une préparation de bactériophages létaux possédant le même titre sur milieu solide n'exerce pas la même activité létale en milieu liquide : la colicine tue de 5 à 10 fois plus de bactéries que le bactériophage [on s'attendrait à une différence plus marquée en faveur de l'activité létale de la colicine (de l'ordre de 25 à 50 fois) mais les bactériophages employés furent ultracentrifugés ([7]) et titrés probablement sous forme d'agrégats sur milieu solide; la dissociation de ces agrégats par agitation lors de l'expérience en milieu liquide ainsi que la distribution différente des colicines et des bactériophages sur les bactéries ([3]) pourraient expliquer, à notre avis, cette valeur relativement faible du rapport d'activité des colicines et des bactériophages].

Les courbes de survie des bactéries traduisent, d'ailleurs, la différence qui existe dans les modalités de la fixation de ces agents; en effet, les courbes de survie des bactéries soumises aux différentes concentrations de colicines ou de pyocines évoluent, dans leur portion terminale, suivant un plateau qui *n'est pas parallèle à l'axe des abscisses*, contrairement à ce qu'on observe avec les bactériophages. Cette constatation démontre qu'à la phase initiale d'inactivation exponentielle, succède une deuxième phase au cours de laquelle l'action bactéricide se poursuit nettement pendant 2 h.

Tous ces résultats suggèrent qu'une unité létale de bactériocine peut tuer plusieurs bactéries. Deux mécanismes d'action pourraient intervenir : *a.* l'unité létale tue une première bactérie, se sépare de son récepteur, tue une deuxième bactérie et ainsi de suite; *b.* l'unité létale tue une bactérie et reste fixée sur son récepteur; suivant le hasard des collisions, elle peut tuer plusieurs autres bactéries. Or, nous avons signalé que les colicines, les pyocines et les mégacines peuvent stériliser une population bactérienne importante sans perte apparente (ou avec une perte faible) de leur activité. Cette constatation plaide en faveur du mécanisme *a.* On ne peut pas cependant, à notre avis, exclure l'intervention du mécanisme *b* si l'on admet l'existence d'un nombre élevé de « centres actifs » répartis dans toutes les directions à la surface de l'unité létale de bactériocine.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) P. FREDERICQ, *C. R. Soc. Biol.*, 140, 1946, p. 1189.

([2]) P. BORDET et J. BEUMER, *C. R. Soc. Biol.*, 142, 1948, p. 257.

([3]) P. FREDERICQ, *Ann. Inst. Pasteur*, 84, 1953, p. 294.

([4]) Y. HAMON et Y. PÉRON, *Ann. Inst. Pasteur*, 97, 1959, p. 518.

([5]) G. IVÁNOVICS, L. ALFÖLDI et E. NAGY, *J. Gen. Microb.*, 21, 1959, p. 51.

([6]) F. JACOB, L. SIMINOVITCH et E. WOLLMAN, *Ann. Inst. Pasteur*, 83, 1952, p. 295.

([7]) Opération effectuée par J. F. Vieu (Ultracentrifugeuse Spinco, modèle L).

VIROLOGIE. — *Méthode d'isolement direct de l'acide nucléique infectieux, libre chez une plante infectée par le virus de la Mosaïque du Tabac.* Note (*) de MM. **Pierre Cornuet** et **Didier Spire**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

Un système d'électrophorèse verticale sur gélose où l'acide nucléique arrive directement sur la feuille à inoculer permet de récupérer une importante partie de l'acide ribonucléique infectieux libre dans une plante infectée par le virus de la Mosaïque du Tabac.

Depuis la mise en évidence de la nature infectieuse de l'acide ribonucléique extrait du virus de la Mosaïque du Tabac, il apparaissait qu'au cours de sa synthèse la nucléoprotéine virus devait passer par la phase acide nucléique libre. Si tel était bien le mécanisme d'autoreproduction on devrait retrouver l'acide nucléique infectieux, libre dans la plante.

Certains auteurs ont pu en fournir des preuves indirectes. La première tentative de caractérisation directe de l'ARN (acide ribonucléique) infectieux et libre a été réalisée par G. W. Cochran, J. L. Chidester et G. W. Welkie ([1]) au moyen de chromatographie sur colonne de carboxyméthylcellulose, mais R. D. Whitfeld et coll. ([3]), viennent de démentir formellement la possibilité d'un tel isolement. C. W. Cochran et coll. ([2]), ont récemment proposé une nouvelle méthode qui utilise cette fois la migration rapide de l'ARN en électrophorèse dans une veine gélifiée segmentable.

L'ARN infectieux est extrêmement labile puisqu'après 2 h à la température du laboratoire, il perd la moitié de son pouvoir infectieux, il importe donc d'avoir des méthodes rapides de séparation et de caractérisation. Nous avons mis au point une méthode qui, d'une part diminue au maximum le temps entre l'extraction et l'inoculation, et d'autre part concentre le pouvoir infectieux. Le dispositif utilisé est un système d'électrophorèse verticale où l'ARN après migration dans un disque de gélose arrive directement sur la feuille à inoculer. Par cette méthode nous avons pu confirmer les possibilités de récupérer une partie importante de l'ARN infectieux, libre dans la plante.

L'appareil comprend de bas en haut une cuve contenant le tampon M/15 phosphate monopotassique pH 4,3. L'anode en platine est placée au fond de la cuve; à quelques millimètres de la surface du tampon on maintient immergée la feuille ou une superposition de plusieurs feuilles à inoculer. Sur la surface supérieure de la feuille débouche le fond du cône d'un entonnoir. La gélose à 1 % dans le tampon a été coulée dans ce tronc de cône en sorte de ménager une cuvette. L'épaisseur de la gélose entre le fond plat de la cuvette et le fond du cône appliqué sur la feuille est de 15 mm. On place des disques de feuilles infectées dans la cuvette, elles sont mouillées de quelques gouttes de tampon, la cathode de platine est mise à leur contact. On conduit l'électrophorèse sous 10 V (15 mm de gélose, 30 mm entre les

électrodes) et 1,2 m A/cm². La gélose est à 4°C au début de l'essai. Chaque électrophorèse dure 30 mn mais on change les feuilles à inoculer toutes les 10 mn. Après exposition les feuilles sont mises en incubation sur du coton humide.

En premier lieu nous avons montré que seul l'acide nucléique libre pouvait être récupéré par cette méthode; la nucléoprotéine virus ne pouvant en aucun cas migrer dans ces conditions.

A cet effet on a préparé une solution d'acide nucléique infectieux extrait du virus de la Mosaïque du Tabac par la méthode au phénol de Gierer et Schramm [4]. L'électrophorèse de cette solution immédiatement après extraction détermine ultérieurement la formation de lésions locales sur des feuilles de tabac var. « Xanthi » placées directement sous le cône de l'appareil, les lésions se rencontrent indifféremment sur les feuilles exposées pendant les 10 premières minutes ou après, et sur divers niveaux de feuilles, lorsque l'inoculation a lieu sur plusieurs feuilles superposées. Par ailleurs, une suspension de nucléoprotéine virus purifiée par un cycle d'ultracentrifugation (15 mn, 8 000 g, culot éliminé; 1 h, 78 000 g, culot conservé) placée dans les mêmes conditions d'électrophorèse ne détermine la formation d'aucune lésion locale sur les feuilles de « Xanthi ». La nucléoprotéine virus ne risque donc pas d'interférer dans la caractérisation de l'ARN libre.

Des disques de feuilles infectées sont congelées à — 20°C et immédiatement placées en électrophorèse, elles déterminent sur les feuilles de « Xanthi » la formation de lésions locales caractéristiques de l'infection. Des disques équivalents placés en électrophorèse 24 h après la décongélation n'entraînent pas la formation de lésions locales. On confirme alnsi que les lésions sont provoquées par une fraction très labile du pouvoir infectieux, fraction qui dans le cas du virus de la Mosaïque du Tabac ne peut être que l'acide nucléique libre. La partie inférieure du disque de gélose observé au microscope électronique ne présente, d'ailleurs, aucune particule en bâtonnet du virus de la Mosaïque du Tabac.

De telles extractions-inoculations par électrophorèse ont été réalisées avec des disques de feuilles jeunes et de feuilles âgées, dans les deux cas on a pu récupérer une partie du pouvoir infectieux libre, labile, non protéique qui dans l'état actuel des connaissances peut être appelé acide nucléique infectieux.

La présence d'ARN libre, facilement récupérable au sein de la plante infectée doit modifier les concepts classiques sur la migration, l'inoculation, la dissémination du pouvoir infectieux du virus.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) G. W. COCHRAN, J. L. CHIDESTER et G. W. WELKIE, *7th Intern. Congr. Microbiol.*, 1958, Abstracts, p. 231.
(2) G. W. COCHRAN, G. W. WELKIE et J. L. CHIDESTER, *Phytopathology*, 50, 1960, p. 82.
(3) P. R. WHITFELD, M. F. DAY, K. HELMS et D. G. VENABLES, *Virology*, 50, 1960, p. 82.
(4) A. GIERER et G. SCHRAMM, *Nature*, 177, 1956, p. 702-703.

(Station Centrale de Pathologie végétale de l'I. N. R. A.)

VIROLOGIE. — *Recherche d'une souche modifiée de virus aphteux.* Note (*) de MM. **Horst Georg Petermann**, **Jean Fontaine**, **Robert Lang**, **Raoul Camand** et **Eleuthère Leftheriotis**, présentée par M. Gaston Ramon.

L'embryon de Poulet ([1]), ([2]), ([3]), le Lapin ([4]), ([5]), ([6]), ([7]), le Poulet d'un jour ([8]), les volailles ([9]), le Souriceau ([10]) ont déjà fait l'objet d'études intéressantes sur la modification de souches de virus aphteux. Nous avons obtenu des résultats analogues — perte de la virulence pour le bovin et conservation du pouvoir immunigène — en travaillant avec des cultures primaires et secondaires de tissu d'embryon de poulet.

Les trois types de virus aphteux O, A et C ont été ainsi modifiés en débutant par des passages alternés sur culture de cellules rénales de porc et sur culture de tissu d'embryon de poulet et en continuant par des passages en lignée directe sur le tissu d'embryon de poulet.

Les cultures primaires ont été réalisées à partir d'embryons de poulets de 10 jours ou de reins de porcelets, trypsinés puis mis en culture, selon les méthodes habituelles, en milieu Lactalbumine-Hanks à 10 % de sérum de poulain. Les cultures secondaires ont été obtenues en trypsinant les cultures primaires faites en flacons de 4 l et en remettant les cellules en cultures dans les mêmes conditions. Les cultures furent ensemencées avec des solutions virulentes diluées à 10^{-1}.

Le nombre de passages directs réalisés jusqu'à ce jour sont :

de 108 en culture primaire pour le virus O;

de 56 en culture secondaire pour le virus O;

de 91 en culture primaire pour le virus C;

de 23 en culture secondaire pour le virus C;

de 29 en culture primaire pour le virus A.

Les résultats les plus avancés ont été obtenus avec le virus O et les caractéristiques de cette souche sont les suivantes :

1° *Effet cytopathogène* : Cet effet, typique au cours des passages alternés, ne l'a plus été dans les passages directs.

2° *Titres* : Les titrages ont été faits, à chaque passage, sur culture de cellules de rein de porc et sur souriceau et, de temps en temps, sur bovins. Les titres sur cellules se sont toujours maintenus assez régulièrement aux environs de $10^{-6,4}$ par millilitre pour le virus O par exemple, mais les titres sur souriceau et sur bovin ont diminué très rapidement pour devenir pratiquement nuls et incalculables.

3° *Sérologie*. — Les réactions de fixation du complément réalisées à partir du liquide de culture ont été irrégulières au début des passages, puis presque toujours négatives. Dans ce cas, l'identité pouvait être vérifiée sérologiquement, soit par fixation du complément à partir des souriceaux morts au cours des titrages, soit par séroneutralisation du virus sur culture

de cellules rénales avec des sérums bovins standards anti-O, anti-A, anti-C. Cette épreuve est la plus sûre des trois.

4° *Innocuité.* — L'innocuité de cette souche a été contrôlée sur des bœufs réceptifs ne présentant pas d'anticorps antiaphteux. 80 % des animaux inoculés par la voie intradermique-linguale avec 2 ml de culture de virus O, correspondant à des doses variant entre 1 et 50 millions de $DICT_{50}$ [11], sont demeurés indemnes. Les autres ont eu des aphtes locaux 4 à 6 jours après l'inoculation, sans présenter de lésions de fièvre aphteuse généralisée. Cependant, nous avons souvent observé des infiltrations jaunâtres de la muqueuse linguale qui se sont révélées négatives à la réaction de fixation du complément.

Les inoculations faites par voie intradermique et intramusculaire avec plus de 63 000 000 de $DICT_{50}$ ont tout au plus provoqué, chez certains sujets, de faibles et passagers accès de fièvre. Dans un cas seulement, avec le 71e passage inoculé à raison de 50 000 000 de doses par voie intra-linguale et 250 000 000 de doses par voie intradermique ou intramusculaire, les animaux ont présenté des aphtes typiques et bien conformés sans aucune généralisation de fièvre aphteuse.

5° *Production d'anticorps spécifiques et pouvoir immunigène.* — Des bœufs de même provenance et répondant aux mêmes conditions que pour le contrôle précédent ont été utilisés. Il a été possible de mettre en évidence des anticorps spécifiques dans le sérum de ces animaux après inoculation de la souche de virus modifiée. Les titres de séroneutralisation obtenus ont varié entre 1,07 et 2,17 (exprimé en logarithme) et ont considérablement augmenté après une injection de rappel. Mais à l'épreuve virulente avec 10 000 DI, 50 % d'un virus bovin, préalablement titré, 66 à 75 % des animaux seulement ont été protégés.

(*) Séance du 3 octobre 1960.

(1) J. H. Gillespie, *Corn. Vet.*, 45, 1955, p. 170-179.
(2) A. Komarov, *Refuah vet.*, 14, 1957, p. 56.
(3) U. Schmidt, *Bull. Off. Int. Epiz.*, 53, 1960, p. 599.
(4) G. Ciaccio et P. Giroud, *Ann. Inst. Pasteur*, 96, 1959, p. 496.
(5) R. G. Cunha et M. G. Guerreiro, *Bull. Off. Int. Epiz.*, 53, 1960, p. 596.
(6) A. Paraf, J. Asso, J. Verge, L. Dhennin et L. Dhennin, *Bull. Off, Int. Epiz.*, 51, 1959, p. 61-63.
(7) Testi, *Zooprofilassi*, 13, 1958, p. 47.
(8) C. Palacios et R. A. Fuentes, *Bull. Off. Int. Epiz.*, 53, 1960, p. 611.
(9) H. H. Skinner, *Arch. Ges. Virusforschg.*, 9, 1959, p. 92-126.
(10) B. Schneider, *Mh. Tierheilk.*, 8, 1956, p. 176-184.
(11) $DICT_{50}$ = Doses Infectantes 50 % sur culture de cellules de rein de porc.

(*Institut Français de la Fièvre aphteuse, Lyon.*)

A 15 h 45 m l'Académie se forme en Comité secret.

COMITÉ SECRET.

Le Bureau rappelle aux Membres de l'Académie que le paragraphe 4 de l'article 2 du Règlement relatif aux *Comptes rendus* rend obligatoire la mention, à la fin des Notes qu'ils présentent, soit du lieu où la recherche a été effectuée, soit de l'adresse personnelle de l'auteur.

La section d'astronomie, par l'organe de son doyen, présente la liste suivante de candidats à la place vacante par la mort de M. *Georges Darmois* :

En première ligne................ M. **Fernand Baldet.**

En deuxième ligne, ex-æquo *et par ordre alphabétique*............ MM. **Jean Coulomb.** **André Lallemand.**

En troisième ligne, ex-æquo *et par ordre alphabétique*............ MM. **Daniel Challonge.** **Nicolas Stoyko.**

Les titres de ces candidats sont discutés.

L'élection aura lieu en la séance du 7 novembre.

La séance est levée à 17 h.

L. B.

ERRATUMS.

(*Comptes rendus* du 3 octobre 1960.)

Note présentée le même jour, de M. *Bui Trong Lieu*, Estimation dans les processus de Markov discrets :

Page 1339, 22e ligne, *au lieu de* $\int_{\hat{\mathfrak{X}}} \sup_{\theta \in \mathrm{I}} \left| \frac{\partial^k}{\partial \theta^k} \Pi_0 \right| d\mu < \infty$, *lire* $\int_{\mathfrak{X}} \sup_{\theta \in \mathrm{I}} \left| \frac{\partial^k}{\partial \theta^k} \Pi_0 \right| d\mu < \infty$.

Pages 1339, 32e ligne et 1340, 20e ligne, *au lieu de* $\mathrm{E}\,[(\partial/\partial\theta)\,\mathrm{Log}\,p]^{2+\delta} < \infty$ pour un $\delta < 0$, *lire* $\mathrm{E}\,|(\partial/\partial\theta)\,\mathrm{Log}\,p\,|^{2+\delta} < \infty$ pour un $\delta > 0$.

Page 1340, 16e ligne, *au lieu de* $-\mathrm{Z}_n$, *lire* $-\mathrm{Z}_n(\theta)$.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 31 OCTOBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. **VINCENZO ARANGIO-RUIZ**, Vice-Président de la « Accademia nazionale dei Lincei », informe l'Académie que la cérémonie organisée à l'occasion du centième anniversaire de la naissance de **VITO VOLTERRA** aura lieu au Palais Corsini, à Rome, le samedi 19 novembre 1960.

L'Académie est invitée à se faire représenter aux cérémonies qui auront lieu à New Delhi, du 29 décembre 1960 au 2 janvier 1961, à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire de la fondation du **NATIONAL INSTITUTE OF SCIENCES OF INDIA**.

M. **GEORGES BOULIGAND** fait hommage d'un fascicule intitulé : *La première phase de l'évolution ensembliste du problème de Dirichlet* (*A la mémoire de Florin Vasilesco*).

Les Ouvrages suivants sont adressés en hommage à l'Académie :

— par M. **ALEXANDRE DAUVILLIER**, le texte d'une Conférence donnée le 21 mai 1960 au Palais de la Découverte, intitulée : *Le soleil et la terre. La théorie oscillatoire de l'activité solaire. Les relations entre les phénomènes solaires et terrestres*;

— par M. **HENRI BESAIRIE**, un Mémoire intitulé : *La recherche géologique à Madagascar de* 1948 *à* 1958.

M. le **SECRÉTAIRE PERPÉTUEL** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° GEORGES AMSEL, PIERRE BARUCH et OLGIERD SMULKOWSKI : *Détecteur de particules lourdes à jonction $n - p$ au silicium* et *High resolution study of nuclear reactions by $p - n$ junction detectors.* [Ces Mémoires constituent le développement de Notes parues dans les *Comptes rendus* [1].]

2° Les Conférences du Palais de la Découverte. *Pierre-Louis Moreau de Maupertuis* (1698-1759) *pour le bicentenaire de sa mort*, par M. P.-L. MAILLET.

3° Id. *Jean Fernel et les problèmes de la médecine de la Renaissance*, par M. JACQUES ROGER.

4° Id. *La philosophie de l'algèbre de Lagrange* (*Réflexions sur le Mémoire de* 1770-1771), par M. J. Vuillemin.

5° Id. *Les nouveaux traitements du diabète*, par M. Auguste Loubatières.

6° Id. *Un mélange d'Algèbre et de statistique : le plan d'expériences*, par M. Daniel Dugué.

7° Id. *L'évolution de la notion de composé défini dans la chimie moderne*, par M. J. Bénard.

8° Id. *Quelques problèmes biologiques de la radioactivité alimentaire*, par M. Georges Cuvier.

9° *Physikertagung Berlin.* Hauptvorträge der Jahrestagung 1959 des Verbandes deutscher physikalischer Gesellschaften, herausgegeben, von E. Brüche.

10° Evgeniï Konstantinovitch Lazarenko. *Kours mineralogii.* II.

11° *Renal tubular handling and diuretic effect of mercurial diuretics. A study in the Chicken*, par Dag Campbell (Thèse, Uppsala).

12° *A search for faint blue stars.* XXI. *Proper motions for* 150 *faint stars*, by Willem J. Luyten.

13° Geological survey (U. S. A.). *A primer on water*, par Luna B. Leopold et Walter B. Langbein.

DÉLÉGATIONS.

M. **Albert Caquot** est désigné à nouveau pour faire partie du Conseil d'administration du Palais de la Découverte pour une nouvelle période triennale.

(1) 250, 1960, p. 1468 et 251, 1960, p. 350.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

ALGÈBRE. — *A propos de la localisation des zéros des polynomes.*

Note (*) de M. **Maurice Parodi**, présentée par M. Henri Villat.

Considérons le polynome lacunaire

$$P(z) = z^n + a_p z^{n-p} + \ldots + a_{n-1} z + a_n.$$

Nous avons montré ([1]) que ses zéros se situaient dans le domaine Ω, réunion du disque

$$|z| \leqq 1$$

et de la région définie par l'inégalité

$$|z^p + a_p| \leqq \sum_{k=p+1}^{n} |a_k|.$$

Envisageons maintenant le polynome

$$f(z) : \quad z^n + a_1 z^{n-1} + \ldots + a_{n-1} z + a_n.$$

Nous savons que ses zéros se situent dans le domaine (D) réunion des deux disques

$$|z| \leqq 1,$$

$$|z + a_1| \leqq \sum_{k=2}^{n} |a_k|.$$

Il est possible de déduire du résultat rappelé en premier lieu un procédé qui permet d'améliorer la localisation précédente des zéros de $f(z)$.

Écrivant

$$f(z) : \quad z^n + z^{n-2}(a_1 z + a_2) + a_3 z^{n-3} + \ldots + a_n,$$

une méthode calquée sur celle utilisée pour définir le domaine Ω, permet de montrer que les zéros de $f(z)$ se situent dans la réunion (D′) du disque

$$|z| \geqq 1$$

et de l'ovale de Cassini

$$|z^2 + a_1 z + a_2| \leqq \sum_{k=3}^{n} |a_k|.$$

Précisons ce résultat par un exemple.

Soit

$$f(z) : \quad z^6 + 2z^5 + z^4 + 3z^3 + 2z^2 + 2z + 2.$$

Le domaine (D) est défini par les inégalités

$$|z| \leqq 1,$$
$$|z+2| \leqq 10;$$

quant au domaine (D′) il est défini par les relations

$$|z| \leqq 1,$$
$$z^2 + 2z + 1| \leqq 9,$$

soit

$$|z| \leqq 1,$$
$$|z+1| \leqq 3.$$

L'amélioration de la localisation est notable.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 391 et 908.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Une construction d'espaces d'interpolation.* Note (*) de M. **Jacques-Louis Lions**, présentée par M. Jacques Hadamard.

On donne une construction assez générale d'espaces ayant la propriété d'interpolation par rapport aux applications linéaires (*cf.* th. 1 ci-après); exemples.

1. Soient A_0 et A_1 deux espaces de Banach, contenus dans un même espace vectoriel topologique $\mathcal{A}$, les injections de A_i dans $\mathcal{A}$ étant continues; on désigne par $\| \quad \|_{A_i}$ la norme dans A_i, $i = 0, 1$. On introduit $A_0 + A_1 \subset \mathcal{A}$, espace de Banach pour la norme

$$\| a \|_{A_0+A_1} = \inf_{a=a_0+a_1} (\| a_0 \|_{A_0} + \| a_1 \|_{A_1}).$$

On désigne par $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ l'espace des fonctions $\zeta = \xi + i\eta \to f(\zeta)$ holomorphes dans $0 < \xi < 1$ à valeurs dans $A_0 + A_1$, continues et bornées dans $0 \leqq \xi \leqq 1$ à valeurs dans $A_0 + A_1$, telles que $f(i\eta) \in A_0$, $f(1 + i\eta) \in A_1$ avec

$$\| f \|_{\mathcal{H}(A_0, A_1)} = \max \left[\sup_{\eta} \| f(i\eta) \|_{A_0}, \sup_{\eta} \| f(1 + i\eta) \|_{A_1} \right] < \infty. \tag{1}$$

Muni de la norme (1), $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ est un espace de Banach.

Pour $f \in \mathcal{H}(A_0, A_1)$, posons

$$Lf = \int_0^1 f(\xi) \, d\nu(\xi), \tag{2}$$

où $d\nu$ est une mesure sur $[0, 1]$ ou une distribution sur$]0, 1[$ à support compact. On définit ainsi une application $f \to Lf$ linéaire continue de $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ dans $A_0 + A_1$. *On désigne par* $[A_0, A_1; \nu]$ l'image de $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ *dans cette application, munie de la norme*

$$\| a \|_{[A_0, A_1; \nu]} = \inf_{Lf=a} \| f \|_{\mathcal{H}(A_0, A_1)}, \tag{3}$$

qui en fait un espace de Banach.

Soit $B_0, B_1, \mathcal{B}$ un deuxième triplet d'espaces ayant des propriétés analogues au triplet $A_0, A_1, \mathcal{A}$. Supposons en outre que $A_0 \cap A_1$ est dense dans A_0 et dans A_1.

Soit Π un opérateur linéaire de $A_0 \cap A_1$ dans $B_0 \cap B_1$, prolongeable par continuité en un opérateur linéaire continu de A_0 (resp. A_1) dans B_0 (resp. B_1), de norme ϖ_0 (resp. ϖ_1). On écrira

$$\Pi \in \mathcal{L}(A_0; B_0) \cap \mathcal{L}(A_1; B_1). \tag{4}$$

Notons que Π est alors prolongeable par continuité en un opérateur linéaire continu de $A_0 + A_1$ dans $B_0 + B_1$. Ceci posé :

Théorème 1. — *Si* Π *vérifie* (4), *c'est également un opérateur linéaire continu de* $[A_0, A_1, \nu]$ *dans* $[B_0, B_1, \nu]$, *de norme* $\leqq \max(\varpi_0, \varpi_1)$.

THÉORÈME 2. — *Si dans le théorème* 1, *on prend* $\nu = \delta(\theta)$, *masse de Dirac au point* $\theta \in]0, 1[$, *la norme de* Π *considéré de* $[A_0, A_1, \nu]$ *dans* $[B_0, B_1, \nu]$ *est* $\leqq \varpi_0^{1-\theta}\, \varpi_1^{\theta}$.

THÉORÈME 3. — *Si* $A_0 \subset A_1$, $B_0 \subset B_1$ (*les injections étant continues*) *et si* $a, b \rightarrow K(a, b)$ *est une application bilinéaire continue* de $A_1 \times B_1 \rightarrow C_1$ *et de* $A_0 \times B_0 \rightarrow C_0$ (C_0, C_1, $\mathcal{C}$ troisième triplet comme A_0, A_1, $\mathfrak{A}$), *alors* $a, b \rightarrow K(a, b)$ *est une application bilinéaire continue de*

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] \times [B_0, B_1, \delta(\theta)] \quad \textit{dans}\ [C_0, C_1, \delta(\theta)].$$

2. *Variantes.* — 1° On désigne par $\mathcal{H}^{(m)}(A_0, A_1)$ l'espace des fonctions $f(\zeta)$ telles que $f, f', \ldots, f^{(m)} \in \mathcal{H}(A_0, A_1)$, muni de la norme naturelle. On introduit les espaces $[A_0, A_1, \nu]_{(m)}$ obtenus en considérant l'image par l'application (2) de $\mathcal{H}^{(m)}(A_0, A_1)$ dans $A_0 + A_1$ et muni de la norme analogue à (3). Avec cette notation :

$$[A_0, A_1, \nu]_{(0)} = [A_0, A_1, \nu].$$

On a pour ces espaces un théorème analogue au théorème 1. *Les espaces* $[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)}$ *ont des propriétés analogues à celles du théorème* 3.

Notons ceci :

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)} \subset [A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m-1)} \subset \ldots \subset [A_0, A_1, \delta(\theta)]$$
$$\subset [A_0, A_1, \delta'(\theta)] \subset \ldots \subset [A_0, A_1, \delta^{(m)}(\theta)] \subset \ldots,$$

les injections étant continues.

2° Soit une famille de $n+1$ espaces de Banach $A_0, \ldots, A_n$, tous contenus dans un même espace $\mathfrak{A}$. On introduit $\mathcal{H}(A_0, \ldots, A_n)$, espace des fonctions $f(\zeta, \ldots, \zeta_n)$ holomorphes dans $P = \{\xi_j > 0, \xi_1 + \ldots + \xi_n < 1\}$, à valeurs dans $A_0 + \ldots + A_n$, continues et bornées dans $\bar{P}$ à valeurs dans $A_0 + \ldots + A_n$, telles que

$$f(i\eta_1, \ldots, i\eta_n) \in A_0, \quad f(1 + i\eta_1, i\eta_2, \ldots, i\eta_n) \in A_1, \quad \ldots, \quad f(i\eta_1, \ldots, i\eta_{n-1}, 1 + i\eta_n) \in A_n$$

et demeurent dans des bornés de ces espaces. On construit alors les espaces $[A_0, \ldots, A_n, \nu]$, où cette fois ν est une mesure sur $\bar{P}$ ou une distribution à support compact dans P. On a des résultats analogues aux précédents.

3° Tout ceci s'étend au cas où les A_j sont des espaces vectoriels topologiques localement convexes quelconques.

4° On peut également remplacer dans les définitions précédentes le mot « borné » par « à croissance convenable à l'infini »; on peut également interpoler par rapport à des opérateurs $\Pi(\zeta)$ dépendant (convenablement) de ζ [1].

3. *Exemples.* — Si $A_0 = L^{p_0}$, $A_1 = L^{p_1}$, alors

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] = L^{p(\theta)}, \quad \text{où}\ \frac{1}{p(\theta)} = \frac{1-\theta}{p_0} + \frac{\theta}{p_1}$$

avec identité des normes; le théorème 2 redonne alors le théorème de Riesz-Thorin. Si $A_2 = L^{p_2}$, alors

$$[A_0, A_1 A_2, \delta(\theta_1, \theta_2)] = L^{p(\theta_1, \theta_2)}, \qquad \text{où} \quad \frac{1}{p(\theta_1, \theta_2)} = \frac{1-\theta_1-\theta_2}{p_0} + \frac{\theta_1}{p_1} + \frac{\theta_2}{p_2}.$$

Si $A_0 = L^p_{M_0}$, $A_1 = L^p_{M_1}$ (espaces L^p pour les mesures $M_i\,d\mu$, $M_i > 0$ localement μ-intégrable), alors

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] = L^p_{M_0^{1-\theta} M_1^{\theta}} \quad (^2),$$

$$[A_0, A_1, \delta^{(m)}(\theta)] = L^p_{X_m}, \qquad \text{où} \quad X_m = M_0^{1-\theta} M_1^{\theta} \left(1 + \left|\mathrm{Log}\frac{M_1}{M_0}\right|^m\right)^{-p},$$

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)} = L^p_{Y_m}, \qquad \text{où} \quad Y_m = M_0^{1-\theta} M_1^{\theta} \left(1 + \left|\mathrm{Log}\frac{M_1}{M_0}\right|^m\right)^{p}.$$

Si $H^{\alpha,p}(R^p) = H^{\alpha,p}$, α réel, $1 < p < \infty$, désigne l'espace des distributions tempérées (³) f telles que $(1+y^2)^{\alpha/2} \mathcal{F} f \in \in \mathcal{F} L^p$ (⁴) avec la norme $\| \mathcal{F}^{-1}(1+y^2)^{\alpha/2} \mathcal{F} f \|_{L^p}$, et si $A_0 = H^{\alpha_0,p}$, $A_1 = H^{\alpha_1,p}$, on a

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] = H^{\alpha(\theta),p}, \qquad \alpha(\theta) = (1-\theta)\alpha_0 + \theta\alpha_1;$$

$[A_0, A_1, \delta^{(m)}(\theta)]$ est l'espace des f telles que

$$(1 + \mathrm{Log}(1+y^2))^{-m}(1+y^2)^{\frac{\alpha(\theta)}{2}} \mathcal{F} f \in \mathcal{F} L^p, \tag{5}$$

et $[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)}$ s'obtient en remplaçant dans (5) m par $-m$. Si $A_0 = H^{\alpha_0,p_0}$, $A_1 = H^{\alpha_1,p_1}$, $\infty > p_0 > p_1 > 1$, alors $[A_0, A_1, \delta(\theta)] \subset H^{\alpha(\theta),p(\theta)}$, avec l'injection continue (il est possible qu'il y ait égalité) (⁵).

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(¹) A. Zygmund, *Trigonometrical series*, chap. XII, vol. 2, Cambridge University Press, 1959.

(²) Le théorème 2 donne alors E. M. Stein, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 83, 1956, p. 482-492; E. M. Stein et G. Weiss, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 87, 1958, p. 159-172.

(³) Schwartz, *Théorie des distributions*, II, Hermann, 1951.

(⁴) $\mathcal{F}$ désigne la transformation de Fourier.

(⁵) On retrouve aussi le théorème d'interpolation dans les espaces de Hilbert : Lions, *Bull. Math. Soc. Sc. Math. Phys. Roumanie*, 50, 1958, p. 419-432; N. Aronszajn, *Conférence de Berkeley*, avril 1960; S. G. Krein, *Doklady*, 130, 1959, p. 1162-1165. Pour des méthodes *réelles cf.* E. Gagliardo, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1912, 3388 et 3517; *Ricerche di Matem.*, 9, 1960, p. 58-81; J. L. Lions, *loc. cit.* et *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2259; 250, 1960, p. 2104; *Annali di Pisa*, 13, 1959, p. 389-403.

(⁶) *Note ajoutée à la correction des épreuves.* — Les espaces $[A_0, A_1, \nu]$ correspondant à $\nu = \delta(\theta)$ ont été introduits indépendamment par A. P. Caldéron (*Intermediate spaces and interpolation*, Varsovie, septembre 1960). Cet auteur n'introduit pas $[A_0, A_1, \nu]$ pour $\nu \neq \delta(\theta)$, mais obtient dans la direction du 2, 4°, des résultats que nous n'avions pas obtenus (Caldéron, *loc. cit.*, n° 2).

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Solutions périodiques des systèmes généraux à retardement dans le cas de la résonance.* Note (*) de M. **Aristide Halanay**, présentée par M. Paul Montel.

Condition nécessaire et suffisante pour l'existence de solutions périodiques du système non homogène dans le cas où le système homogène correspondant admet des solutions périodiques.

1. Soit le système

$$\dot{x}(t)=\int_{-\infty}^{0} x(t+s)\,d_s\eta(t, s)+f(t) \tag{1}$$

avec les mêmes hypothèses que dans [1].

Si $x(t)$ est une solution du système, on a

$$x(t)=x(\sigma)\,\mathrm{Y}(\sigma, t)+\int_{\sigma-\tau}^{\sigma} x(s)\,ds\int_{\sigma}^{\sigma+\tau}\eta(\alpha, s-\alpha)\,\mathrm{Y}(\alpha, t)\,d\alpha+\int_{\sigma}^{t} f(\alpha)\,\mathrm{Y}(\alpha, t)\,d\alpha.$$

La condition nécessaire et suffisante de périodicité de la solution $x(t)$ est

$$\begin{aligned}\varphi(s)-\varphi(0)\,\mathrm{Y}(0, \omega+s)-\int_{-\tau}^{0}\varphi(\beta)\,d\beta\int_{-\tau}^{0}\eta(\alpha+\tau, \beta-\alpha-\tau)\,\mathrm{Y}(\alpha+\tau, \omega+s)\,d\alpha\\ =\int_{0}^{\omega+s} f(\alpha)\,\mathrm{Y}(\alpha, \omega+s)\,d\alpha,\end{aligned} \tag{2}$$

où $\varphi(s)$ est la fonction initiale de $x(t)$, définie sur $[-\tau, 0]$.

Considérons le système adjoint

$$y(\alpha)+\int_{-\infty}^{0}\eta(\alpha-\gamma, \gamma)\,y(\alpha-\gamma)\,d\gamma=\mathrm{Cte}. \tag{3}$$

Si l'on observe que $\eta(t, s)\equiv 0$ pour $s\geq 0$ et $s\leq -\tau$, (3) devient

$$\begin{aligned}y(\alpha)+\int_{\alpha}^{\sigma}\eta(\beta, \alpha-\beta)\,y(\beta)\,d\beta\\ =y(\sigma)+\int_{\sigma}^{\sigma+\tau}\eta(\beta, \sigma-\beta)\,y(\beta)\,d\beta-\int_{\sigma}^{\alpha+\tau}\eta(\beta, \alpha-\beta)\,y(\beta)\,d\beta.\end{aligned}$$

On voit que, si l'on donne la solution sur $[\sigma, \sigma+\tau]$, elle est déterminée pour $\alpha<\sigma$ par un système d'équations intégrales de Volterra, ce qui permet de formuler des théorèmes d'existence et d'unicité pour le système (3).

Soit $y(t)$, une solution de (3), définie pour $t\leq\sigma+\tau$ et $\mathrm{X}(\alpha, \gamma)$, une matrice dont les lignes représentent comme fonctions de α des solutions

du système (1) pour $f \equiv 0$, telles que $X(\alpha, \gamma) \equiv 0$ pour $\alpha < \gamma$, $X(\gamma, \gamma) = E$. On a

$$\begin{aligned} y(t) &= X(\sigma, t)\, y(\sigma) + \int_{-\infty}^{\sigma} X(\beta, t)\, d\beta \int_{\sigma}^{\infty} \eta(\alpha, \beta-\alpha)\, y(\alpha)\, d\alpha \\ &= X(\sigma, t)\, y(\sigma) + \int_{\sigma-\tau}^{\sigma} X(\beta, t)\, d\beta \int_{\sigma}^{\sigma+\tau} \eta(\alpha, \beta-\alpha)\, y(\alpha)\, d\alpha \\ &= Y(t, \sigma)\, y(\sigma) + \int_{\sigma-\tau}^{\sigma} Y(t, \beta)\, d\beta \int_{\sigma}^{\sigma+\tau} \eta(\alpha, \beta-\alpha)\, y(\alpha)\, d\alpha. \end{aligned}$$

Soit ψ, la fonction initiale de la solution $y(t)$, donnée sur $[\omega, \omega+\tau]$, et $\tilde{\varphi}(s) = \psi(s+\omega+\tau)$. Alors la solution $y(t)$ sera périodique de période ω si et seulement si $\tilde{\varphi}(s)$ vérifie l'équation

$$(4)\quad \tilde{\varphi}(s) - Y(s+\tau, \omega)\,\tilde{\varphi}(-\tau) - \int_{-\tau}^{0} Y(s+\tau, \omega+\beta)\, d\beta \int_{-\tau}^{0} \eta(\gamma+\tau, \beta-\gamma-\tau)\,\tilde{\varphi}(\gamma)\, d\gamma = 0.$$

Par l'étude directe des équations (2) et (4), on prouve que les équations (2) pour $f \equiv 0$ et (4) ont le même nombre de solutions indépendantes et que la condition nécessaire et suffisante de l'existence des solutions de l'équation (2) est

$$\int_0^{\omega} f(\alpha)\, Y(\alpha, \omega)\,\tilde{\varphi}_k(-\tau)\, d\alpha + \int_{-\tau}^{0}\left(\int_0^{\omega+\beta} f(\alpha)\, Y(\alpha, \omega+\beta)\, d\alpha\right) d\beta \int_{-\tau}^{0} \eta(\alpha+\tau, \beta-\alpha-\tau)\,\tilde{\varphi}_k(\alpha)\, d\alpha = 0$$

pour toutes les solutions indépendantes $\tilde{\varphi}$ de (4).

Cette dernière condition s'écrit

$$\int_0^{\omega} f(\alpha)\, y_k(\alpha)\, d\alpha = 0,$$

où $y_k(t)$ est la solution périodique du système (3) définie par la fonction initiale $\psi_k(t) = \tilde{\varphi}_k(t-\tau-\omega)$. Donc :

THÉORÈME. — *La condition nécessaire et suffisante pour l'existence de solutions périodiques du système* (1) *est*

$$\int_0^{\omega} f(\alpha)\, y_k(\alpha)\, d\alpha = 0$$

pour toutes les solutions périodiques indépendantes du système (3). *Dans le cas où* $\eta(t, s)$ *ne dépend pas de* t, *qui correspond aux systèmes à coefficients constants, ce théorème a été établi par S. N. Šimanov* ([2]), ([3]).

Dans le cas très important des systèmes d'équations à argument retardé de la forme

$$\dot{x}(t) = A(t)\, x(t) + B(t)\, x(t-\tau) + f(t),$$

le système adjoint est

$$\dot{y}(t) = -y(t)\, A(t) - y(t+\tau)\, B(t+\tau).$$

Soit le système

$$\dot{x}(t) = \int_{-\infty}^{0} x(t+s)\, d_s\eta(t, s) + f(t) + \varepsilon R(t, \varepsilon, x(t+s)), \tag{5}$$

où, pour chaque valeur de t et ε, les composantes du vecteur R sont des fonctionnelles continues définies sur l'espace des fonctions vectorielles continues sur $[-\tau, 0]$ et $R(t+\omega, \varepsilon, \varphi) \equiv R(t, \varepsilon, \varphi)$.

Si le système (5) admet une solution périodique de période ω, $x(t, \varepsilon)$, telle que $\lim_{\varepsilon \to 0} x(t, \varepsilon) = x_0(t)$, où $x_0(t)$ est une solution périodique de période ω de (1), alors

$$\int_0^{\omega} R[t, 0, x_0(t+s)]\, y_k(t)\, dt = 0$$

pour toutes les solutions périodiques de période ω de (3). Dans le cas des systèmes de la forme

$$\dot{x}(t) = g[t, x(t), x(t-\tau)] + \varepsilon f[t, x(t), x(t-\tau), \varepsilon], \tag{6}$$

supposons que le système obtenu pour $\varepsilon = 0$ admette une solution périodique $x_0(t)$ de période ω telle que le système aux variations correspondant admette des solutions périodiques de période ω. Alors, si le système (6) admet une solution périodique de la forme $x(t) = x_0(t) + \varepsilon x_1(t) + O(\varepsilon^2)$, la solution $x_0(t)$ doit vérifier la condition

$$\int_0^{\omega} y_k(t) f[t, x_0(t), x_0(t-\tau), 0]\, dt = 0,$$

pour toutes les solutions périodiques indépendantes $y_k(t)$ du système adjoint au système aux variations correspondant à la solution $x_0(t)$.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) A. HALANAY, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3557.

(2) S. N. ŠIMANOV, *Prikladnaïa Matematika i Mechanika*, 23, 1959, p. 836-844.

(3) S. N. ŠIMANOV, *Doklady Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 133, nº 1, 1960, p. 36-39.

(*Institut de Mathématiques de l'Académie de la République Populaire Roumaine, Str. Mickaïl Eminescu, Bucarest.*)

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Nouveau système d'équations dynamiques de la turbulence isotrope.* Note (*) de M. **Stoïtcho Pantchev**, présentée par M. Henri Villat.

Nous avons obtenu [1] l'équation entre tenseurs

$$(1)\qquad -\left(\frac{\partial}{\partial t}-2\nu\Delta\right)S_{jl,i}=X_{jl,i}-Y_{jl,i},$$

où

$$(2)\qquad X_{jl,i}=\frac{\partial}{\partial r_k}(\overline{u_i u_k u'_j u'_l}-\overline{u_i u'_k u'_j u'_l})+\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial r_i}\overline{pu'_j u'_l},$$

$$(3)\qquad Y_{jl,i}=2\nu\,\overline{u_i\frac{\partial u'_l}{\partial x'_\alpha}\frac{\partial u'_j}{\partial x'_\alpha}}+\frac{1}{\rho}\overline{\left(u'_l\frac{\partial}{\partial x'_j}+u'_j\frac{\partial}{\partial x'_l}\right)p'u_i},$$

$$S_{jl,i}=\overline{u_j u_l u'_i}.$$

Le tenseur $S_{jl,i}$ est symétrique par rapport aux index j, l, solénoïdal par rapport à i et isotrope. Par conséquent les tenseurs $X_{jl,i}$ et $Y_{jl,i}$ possèdent les mêmes propriétés. C'est pourquoi n'importe lequel d'entre eux peut se présenter sous la forme

$$B_{jl,i}=\frac{2}{r}B'r_j r_l r_i-(rB'+3B)(r_j\delta_{li}+r_l\delta_{ij})+2Br_i\delta_{jl},$$

où

$$B=B(r,t),\qquad r_\alpha=x'_\alpha-x_\alpha,\qquad B'=\frac{dB}{dr}.$$

L'équation scalaire équivalente à (1) est

$$(4)\qquad -\left(\frac{\partial}{\partial t}-2\nu D_7\right)S=X-Y.$$

Nous écrivons l'équation connue de Karman-Howarth [2]

$$(5)\qquad \left(\frac{\partial}{\partial t}-2\nu D_5\right)G=4\left(r\frac{\partial}{\partial r}+5\right)S,$$

où G (r,t) est la fonction longitudinale corrélative, et

$$D_n=\frac{d^2}{dr^2}+\frac{n-1}{r}\frac{d}{dr}.$$

De (4) et (5) nous éliminons S,

$$(6)\qquad \left(\frac{\partial}{\partial t}-2\nu D_5\right)^2 G=-4\left(r\frac{\partial}{\partial r}+5\right)(X-Y).$$

Dans (2) on peut éliminer la pression p à l'aide de l'équation de continuité $\partial u_k/\partial x_k=0$ et des équations du mouvement. Nous exprimons les moments tenseurs du quatrième ordre dans (2), comme il est d'usage,

par le tenseur fondamental $\overline{u_\alpha u'_\beta}$ à l'aide de l'hypothèse de quasi-normalité

$$\overline{\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4} = \overline{\eta_1\eta_2}\,\overline{\eta_3\eta_4} + \overline{\eta_1\eta_3}\,\overline{\eta_2\eta_4} + \overline{\eta_1\eta_4}\,\overline{\eta_2\eta_3}, \tag{7}$$

où η est occasionnellement variable avec $\overline{\eta}_\alpha = 0$. Après d'assez longs calculs nous obtenons

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 5\right)X = -(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G, \tag{8}$$

où $G_0 = G(0, t)$. De (6) et de (8) nous éliminons X,

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)^2 = 4(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G + 4\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 5\right)Y. \tag{9}$$

Prenons maintenant pour les fluctuations de la température T dans le courant turbulent isotrope une équation analogue à (1), obtenue dans ([3])

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa\Delta\right)\overline{u_j TT'} = \frac{\partial}{\partial r_k}\left(\overline{u'_j u'_k T'T} - \overline{u'_j u_k TT'}\right) + L_j, \tag{10}$$

$$L_j = \frac{1}{\rho}\overline{TT'\frac{\partial p'}{\partial x'_j}} + (\varkappa - \nu)\,\overline{TT'\Delta' u'_j} + 2\varkappa\overline{T\frac{\partial T'}{\partial x'_\alpha}\frac{\partial u'_j}{\partial x'_\alpha}}. \tag{11}$$

En transformant les moments du quatrième ordre de (10) à l'aide de (7) nous obtenons l'équation scalaire équivalente à (10)

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_5\right)A = (G_0 - G)\frac{B'_{TT}}{r} + L, \tag{12}$$

où

$$\overline{u_j TT'} = A(r, t)\,r_j; \qquad L_j = L(r, t)\,r_j; \qquad B_{TT}(r, t) = \overline{TT'}; \qquad \overline{Tu'_\alpha} \equiv 0.$$

De (12) et de l'équation de S. Corrsin ([4])

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_3\right)B_{TT} = 2\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 3\right)A, \tag{13}$$

éliminons la fonction A (r, t)

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_3\right)^2 B_{TT} = 2\left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r}\right)(G_0 - G)\,B'_{TT} + 2\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 3\right)L. \tag{14}$$

Les fonctions Y (r, t) et L (r, t) figurant dans (9) et (14) représentent des moments de troisième ordre dans (3) et (11). Nous admettrons que ces moments peuvent être négligés comme on le fait souvent en théorie, c'est-à-dire que dans (9) et (14) on peut considérer que $Y \approx 0$ et $L \approx 0$. Cela étant admis, nous obtenons le nouveau système proposé :

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)^2 G = 4(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G, \tag{15}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_3\right)^2 B_{TT} = 2\left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r}\right)(G_0 - G)\,B'_{TT}, \tag{16}$$

de deux équations pour les deux fonctions inconnues G (r, t) et $B_{TT}(r, t)$. Par leur nature, (15) et (16) sont semblables aux équations de la fonction

corrélative d'espace et de temps $G(r, \tau)$ et $B_{TT}(r, \tau)$, obtenues dans [5] et [6].

Dans les cas où l'on peut négliger l'influence du frottement ($\nu \approx 0$) et de la conductibilité thermique ($\varkappa \approx 0$), le système se réduit à

$$(15\,a) \qquad \frac{\partial^3 G}{\partial r\,\partial t^2} = 4(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r} D_5 G,$$

$$(16\,a) \qquad \frac{\partial^2 B_{TT}}{\partial t^2} = 2\left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r}\right)(G_0 - G)\,B'_{TT}.$$

L'équation (16 *a*) a été obtenue précédemment par W. H. Reid [7] d'une manière toute différente.

Il est facile de démontrer que (16) et même l'équation exacte (14) — en admettant l'hypothèse supplémentaire $r^3 L \to 0$, lorsque $r \to \infty$, avec la transformation (7) appliquée à (10) — ne sont pas en contradiction avec l'existence de l'invariant de Corrsin [4],

$$(17) \qquad \int_0^\infty r^2 B_{TT}(r, t)\,dr = \text{Cte}.$$

Antérieurement, Reid [7] était également parvenu à la même conclusion, en analysant l'équation abrégée (16 *a*).

(*) Séance du 24 octobre 1960.

[1] St. Pantchev, *C. R. Acad. bulg. Sc.*, 12, n° 5, 1959.
[2] T. von Karman et L. Howarth, *Proc. Roy. Soc.*, 164 A, 1938.
[3] St. Pantchev, *C. R. Acad. bulg. Sc.*, 12, n° 6, 1959.
[4] S. Corrsin, *I. Aero. Sc.*, 17, 1950, p. 417.
[5] S. Chandrasenkar, *Proc. Roy. Soc.*, 229 A, 1955.
[6] St. Pantchev, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 661.
[7] W. H. Reid, *Proc. Cambr. Phil. Soc.*, 51, n° 2, 1955.

PHYSIQUE SOLAIRE. — *L'excitation de la raie coronale rouge* λ 6 374. Note (*) de Mme **Charlotte Pecker**, transmise par M. André Danjon.

La raie coronale rouge λ 6374 est une transition interdite $3s^2 3p^5$ $({}^2P^0_{1/2} - {}^2P^0_{3/2})$ dans la configuration fondamentale de Fe X (séquence du Cl I). Le potentiel d'excitation nécessaire pour exciter la raie étant très faible (1, 94 V) par rapport au potentiel d'ionisation de l'ion Fe X (262 V) on a coutume de dissocier les problèmes relatifs à l'ionisation de ceux relatifs à l'excitation.

La théorie classique réduit l'ion Fe X à deux niveaux ${}^2P^0_{3/2}$ (fondamental) et ${}^2P^0_{1/2}$ pour l'étude de l'excitation de la raie rouge. Cependant, l'existence dans le spectre ultraviolet solaire de la raie permise $3s\,3p^6\ {}^2S_{1/2} - 3s^2\,3p^5\ {}^2P^0_{3/2}$ nous a conduite à rechercher quelle pouvait être l'influence de ce niveau $3s\,3p^6\ {}^2S_{1/2}$ ($\chi_{exc} = 29$ V) sur la population des deux niveaux du doublet fondamental.

L'intensité de la raie rouge coronale étant proportionnelle à la population du niveau $3s^2\,3p^5\ {}^2P^0_{1/2}$ il importe de connaître cette population en fonction de la température et de la densité électronique.

A. En reprenant la théorie classique des deux niveaux de populations N_1 et N_2, on peut écrire l'équation représentant l'équilibre statistique des populations :

$$N_1(b_{12} + B_{12}u_\nu) = N_2(A_{21} + b_{21} + B_{21}u_\nu),$$

où A_{21}, B_{21}, B_{12} sont les probabilités d'Einstein relatives à l'émission spontanée, l'émission induite et l'absorption, u_ν la densité de rayonnement photosphérique dilué ($W = 1/2$), les b_{12} et b_{21} caractérisant l'excitation et la désexcitation par collisions électroniques d'un niveau métastable sont donnés par la formule d'Hebb Menzel (valable pour O III et extrapolée jusqu'aux ions coronaux)

$$b_{12} = 8{,}54 \cdot 10^{-6}\,\Omega'(1,\ 2)\,(2J_2 + 1)\,N_e T_e^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{h\nu}{kT}}.$$

Si l'on admet cette valeur des b_{ij}, les excitations et désexcitations par rayonnement sont négligeables dans les conditions coronales et

$$(1) \qquad \frac{N_2}{N_1} = \frac{b_{12}}{A_{21} + b_{21}} = \frac{8{,}54 \cdot 10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 1{,}5 \cdot 10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

$N_e\,T_e^{-1/2}$ étant de l'ordre de 10^5 à 10^6 dans la couronne, ce rapport N_2/N_1 est très sensible à la valeur de b_{12}. Or Blaha [1] vient de montrer pour la raie verte (transition de type semblable de l'ion Fe XIV) que cette section de choc était surestimée par un facteur 11. Le rapport N_2/N_1 se trouve

donc diminué par un facteur de l'ordre de 10, également pour la raie rouge et l'on a approximativement :

(2) $$\frac{N_2}{N_1} = \frac{8.10^{-7} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 1{,}5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

Il est vraisemblable qu'alors excitations et désexcitations par rayonnement ne sont plus négligeables.

B. Supposons maintenant l'ion Fe X réduit aux trois niveaux $^2P^0_{3/2}$, $^2P^0_{1/2}$, $^2S_{1/2}$ de populations N_1, N_2, N_3.

Les équations de l'équilibre statistique relatives aux trois niveaux s'écrivent en négligeant les excitations et désexcitations par rayonnement

(3) $$N_1(b_{12} + \Omega_{13}) = N_2 A_{21} + N_3 A_{31},$$

(4) $$N_2(\Omega_{23} + A_{21}) = N_3 A_{32} + N_1 b_{12}.$$

Les Ω_{13}, Ω_{23} sections de choc d'excitation par collisions électroniques relatives aux transitions permises $1 \rightarrow 2$ et $2 \rightarrow 3$, sont données par une formule approchée du type Fowler-Massey [déjà utilisée dans une précédente Note (2)].

Si l'on prend $f = 0{,}5$ pour la transition $3 \rightarrow 1$, la règle de Burger et Dorgelo donne

$$f_{32} = 0{,}25.$$

En admettant une valeur moyenne de la parenthèse $(e^{-\chi/kT} - \chi/kT\, E_i(\chi/kT))$ qui varie peu pour des températures comprises entre 10^6 et 2.10^6 degrés, on a approximativement

$$\Omega_{13} \simeq 1{,}8.10^{-5} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}.$$

Résolvant les équations (3) et (4), on obtient (5)

(5) $$\frac{N_2}{N_1} = \frac{b_{12} + \frac{1}{3}\Omega_{13}}{A_{21} + \frac{2}{3}\Omega_{23}}.$$

Soit en remplaçant b_{12} (Hebb-Menzel), Ω_{13} et Ω_{23} par leurs valeurs

(6) $$\frac{N_2}{N_1} = \frac{8{,}5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}} + 6.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 5{,}5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

La population du niveau 2 se fait donc, dans ce cas, à la fois par collisions électroniques à partir du fondamental et par cascade radiative à partir du niveau ^2S.

Cependant si l'on doit admettre que les b_{12} sont réellement surestimés par un facteur 10, le problème est différent, (6) devient (7),

(7) $$\frac{N_2}{N_1} = \frac{7.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 5{,}5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

La population du niveau $^2P^0_{1/2}$ se fait surtout par cascade à partir du niveau $^2S_{1/2}$, le peuplement par collisions électroniques à partir du fondamental étant 10 fois moins important.

En comparant les résultats (2) et (7) on s'aperçoit que l'introduction d'un troisième niveau apporte un accroissement d'un facteur 10 dans la population du niveau responsable de la raie rouge.

C. Ce résultat est particulièrement important dans la théorie des raies coronales où l'on a l'habitude de comparer le rapport d'intensité des deux raies rouge λ 6 374 et verte λ 5 303, toutes deux de même type pour un ion à deux niveaux. Le rapport ne dépend pas, dans ce cas, de la valeur des b_{12} et les résultats obtenus ne sont pas modifiés par les nouveaux calculs de Blaha. L'analogie entre Fe X et Fe XIV de séquences isoélectroniques différentes, se limitant au doublet fondamental, l'introduction de niveaux supplémentaires différents pour Fe X (un seul niveau à $\chi_{exc} = 29$ V) et Fe XIV (de nombreux niveaux $25 \text{ V} < \chi_{exc} < 40 \text{ V}$) modifiera de façon différente la population des niveaux responsables des raies verte et rouge. Seule une étude complète relative à Fe XIV (actuellement en cours) permettra d'établir l'importance de cette différence.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) M. Blaha, *Bull. Astr. Inst. Czech.*, 9, 1958, p. 106.

(2) Ch. Pecker, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3779.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — *Principe variationnel relatif aux systèmes d'équations à valeurs propres communes. Application au calcul de la constante de propagation des ondes électromagnétiques dans des guides à milieux anisotropes.* Note (*) de MM. **Lorenzo Cairó** et **Théo Kahan**, présentée par M. Louis de Broglie.

On établit un principe variationnel de caractère général et on en fait une application au cas, déjà traité [1], de systèmes d'équations qui fournissent la constante de propagation des ondes électromagnétiques dans des guides d'ondes gyromagnétiques.

Soit le système

$$(1)\qquad \mathcal{L}_i(\psi_1, \ldots, \psi_i, \ldots, \psi_n) = \lambda \mathcal{M}_i(\psi_1, \ldots, \psi_i, \ldots, \psi_n) \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

écrit en notation opérationnelle, $\mathcal{L}_i$ et $\mathcal{M}_i$ étant des opérateurs différentiels ou intégraux.

Si nous désignons l'ensemble des $\mathcal{L}_i$, $\mathcal{M}_i$ et ψ_i par des vecteurs $\vec{\mathcal{L}}$, $\vec{\mathcal{M}}$ et $\vec{\psi}$, le système (1) se traduit par la seule équation [2]

$$(1')\qquad \vec{\mathcal{L}}(\vec{\psi}) = \lambda \vec{\mathcal{M}}(\vec{\psi}),$$

pour laquelle on connaît un principe variationnel pour λ [3] :

$$(2)\qquad [\lambda] = \int \frac{(\vec{\psi}^{+}.\vec{\mathcal{L}})\,\psi\,dv}{(\vec{\psi}^{+}.\vec{\mathcal{M}})\,\psi\,dv},$$

l'intégration étant étendue sur le volume déterminé par les variables indépendantes, et $\vec{\psi}^{+}$ désignant l'ensemble de variables adjointes qui satisfont au système adjoint

$$(3)\qquad \mathcal{L}_i^{+}(\psi_1^{+}, \ldots, \psi_n^{+}) = \lambda \mathcal{M}_i^{+}(\psi_1^{+}, \ldots, \psi_n^{1}).$$

En tenant compte de la notation vectorielle, (2) s'écrira finalement

$$(2')\qquad [\lambda] = \frac{\Sigma_i \int \psi_i^{+} \mathcal{L}_i(\psi_1, \ldots \psi_n)\,\psi_i\,dv}{\Sigma_i \int \psi_i^{+} \mathcal{M}_i(\psi_i, \ldots, \psi_n)\,\psi_i\,dv}.$$

On va faire maintenant une application de ce principe général au cas du système d'équations qui fournissent la constante de propagation des ondes électromagnétiques dans des guides à milieux anisotropes.

A partir du développement en série des modes normaux des fonctions de Green, on obtient pour le champ électromagnétique les équations [1]

$$(4)\qquad \begin{cases} \vec{E}(\vec{x}') - \displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_n^e\,\vec{E}_n(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_n^2} + \frac{\omega^2 \mu_0}{K_0^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left[\int f_n^{+} . \overset{\leftrightarrow}{\varepsilon}' . \vec{E}\,ds\right] f_n(\vec{x}')}{\Omega_n^2} = \frac{J_0^e\,\vec{E}_0(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_0^2}, \\ \dfrac{\overset{\leftrightarrow}{\mu}' . \vec{H}(\vec{x}')}{\mu_0} + \vec{H}(\vec{x}') - \displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\alpha_n \beta_n)^{\frac{1}{2}} J_n^e}{\gamma^2 - \gamma_n^2} \vec{H}_n(\vec{x}') = \frac{(\alpha_0 \beta_0)^{\frac{1}{2}} J_0^e\,\vec{H}_0(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_0^2}, \end{cases}$$

où $\vec{x}' = x'\,\vec{i} + y'\,\vec{j}$, et γ, γ_n sont respectivement les constantes de propagation des ondes électromagnétiques et des modes normaux; $K_0^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0$; $\overleftrightarrow{\varepsilon} = \varepsilon_0 \overleftrightarrow{I} + \overleftrightarrow{\varepsilon}'$; $\overleftrightarrow{\mu} = \mu_0 \overleftrightarrow{I} + \overleftrightarrow{\mu}'$; α_n et β_n sont des constantes dont la valeur dépend de γ, γ_n, K_0 et du mode normal; $\vec{E}_n = \beta_n^{\frac{1}{2}} \vec{F}_n$, $\vec{H}_n = \alpha_n^{\frac{1}{2}} \vec{G}_n$; F_n et G_n sont respectivement les modes normaux solénoïdaux électriques et magnétiques d'ordre n, f_n est le mode normal électrique irrotationnel d'ordre n, Ω_n étant la constante de normalisation de ce mode. Finalement,

$$J_n^e = \frac{\omega^2\mu_0}{\beta_n\Lambda_n^2}\left[\int \vec{E}_n^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\, ds + (\alpha_n\beta_n)^{\frac{1}{2}} \int \vec{H}_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds\right],$$
$$(J_n^e)^+ = \frac{\omega^2\mu_0}{\beta_n\Lambda_n^2}\left[\int \vec{E}^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}_n\, ds + (\alpha_n\beta_n)^{\frac{1}{2}} \int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}_n\, ds\right],$$

l'intégration étant étendue sur la section droite du guide. Λ_n est la constante de normalisation du mode F_n.

Le système (4) est un cas particulier de (1) où

$$\psi_1 \equiv \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}, \qquad \psi_2 \equiv \overleftrightarrow{\mu} . \vec{H}, \qquad \psi_1^+ = \vec{E} . \overleftrightarrow{\varepsilon}', \qquad \psi_e^+ = \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}'.$$

En appliquant (2), on obtient pour la valeur propre $1/(\gamma^2 - \gamma_0^2)$ le principe variationnel

$$\frac{\beta_0\Lambda_0^2}{\omega^2\mu_0}\frac{1}{\gamma^2-\gamma_0^2} = \frac{\left\{\begin{array}{l}\displaystyle\int \vec{E}^+ . \varepsilon' . E\, ds + \frac{1}{\mu_0}\int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds \\ \displaystyle + \int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds - \frac{1}{\omega^2\mu_0}\sum_{n=1} \frac{\beta_n\Lambda_n^2 J_n^e (J_n^e)^+}{\gamma^2-\gamma_n^2} + \frac{\omega^2\mu_0}{k_0^2}\sum \frac{\left[\int \vec{f}_n^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\, ds\right]\left[\int \vec{E}^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{f}_n\, ds\right]}{\Omega_n^2}\end{array}\right\}}{J_0^e (J_0^e)^+}$$

ou, en désignant par D_0^e le numérateur du deuxième membre ([1])

$$(5)\qquad \frac{(\gamma^2-\gamma_0^2)\,\omega^2\mu_0}{\beta_0\Lambda_0^2} = \frac{J_0^e (J_0^e)^+}{D_0^e}.$$

D'une façon analogue, si l'on part du système

$$(6)\quad \left\{\begin{array}{l}\displaystyle \vec{H}(\vec{x}') - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_n^m \vec{H}_n(\vec{x}')}{\gamma_2-\gamma_n^2} - \frac{\omega^2\varepsilon_0}{K_0^2}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\int \frac{g_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds}{\eta_n^2}\right] g_n(\vec{x}') = \frac{J_0^m \vec{H}_0(\vec{x}')}{\gamma_2-\gamma_0^2}, \\ \displaystyle \frac{\overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}(\vec{x}')}{\varepsilon_0} + \vec{E}(\vec{x}') - \sum_{n-1}^{\infty} \frac{(\alpha_n\beta_n)^{\frac{1}{2}} J_n^m \vec{E}_n(\vec{x}')}{\gamma^2-\gamma_n^2} = \frac{(\alpha_0\beta_0)^{\frac{1}{2}} J_0^m \vec{E}_0(\vec{x}')}{\gamma^2-\gamma_0^2},\end{array}\right.$$

où g_n est le mode normal magnétique irrotationnel d'ordre n, dont η_n est la constante de normalisation et où

$$J_n^m = \frac{\omega^2\varepsilon_0}{\alpha_n\lambda_n^2}\left[\int \vec{H}_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds + (\alpha_n\beta_n)^{\frac{1}{2}} \int \vec{E}_n^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\, ds\right],$$

l'intégration étant étendue sur la section droite du guide et λ_n étant la constante de normalisation du mode G_n.

On obtient, en appliquant (2), l'expression variationnelle

$$\frac{(\gamma^2-\gamma_0^2)\,\omega^2\varepsilon_0}{\alpha_0\lambda_0^2}=\frac{J_0^m\,(J_0^m)^+}{D_0^m}, \tag{7}$$

où

$$D_0^m=\frac{1}{\varepsilon_0}\int \vec{E}^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\,ds+\int \vec{E}^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\,ds+\int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\,dt-\frac{1}{\omega^2\varepsilon_0}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\alpha_n\lambda_n^2 J_n^m\,(J_n^m)^+}{\gamma^2-\gamma_n^2}$$
$$+\frac{\omega^2\varepsilon_0}{K_0^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\left[\int g_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\,ds\right]\left[\int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{g}_n\,ds\right]}{\lambda_n^2}.$$

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) W. HAUSER, *Quart. Appl. Math.*, 16, n° 3, octobre 1958.

(2) T. KAHAN, G. RIDEAU et P. ROUSSOPOULOS, *Mém. Sc. math.*, 134, 1956, p. 43.

(3) MORSE et FESHBACH, *Methods of Theoretical Physics*, 2, 1955, p. 1109.

(4) L. GABARRE et L. CAIRÓ, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1750.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Freinage dû à la radiation gravitationnelle.* Note (*) de Mme **Cécile Morette De Witt** et M. **John L. Ging**, présentée par M. Louis de Broglie.

Le système d'équations dynamiques d'une particule de masse m dans un champ de gravitation ([1]) :

$$(1) \qquad \ddot{z}^{\alpha} = 0,$$

$$(2a) \qquad \mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu} = 0$$

ne détermine que formellement le mouvement de la particule puisque le tenseur métrique est infini sur la ligne d'univers de la particule. Pour tourner cette difficulté on sépare du tenseur métrique vrai un tenseur métrique de référence $g_{\mu\nu}$:

$$g_{\mu\nu}^{\text{vrai}} = g_{\mu\nu} + \delta g_{\mu\nu}$$

de telle sorte que $g_{\mu\nu}$ soit fini partout, que $\mathcal{G}^{\mu\nu}(g_{\rho\sigma}) = 0$ et que $\delta g_{\nu\mu} \equiv h_{\mu\nu}$ soit tel que

$$\left(h^{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} h\right)_{;\nu} \equiv \gamma^{\mu\nu}{}_{;\nu} = 0.$$

Dans cette expression, comme dans les suivantes, les dérivées covariantes, désignées par un point virgule, sont prises par rapport au tenseur métrique de référence.

L'équation (2 a) exprimée en termes du champ de référence peut s'écrire symboliquement :

$$(2b) \qquad e^{\delta}\left\{\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu}\right\} = 0.$$

On considère le cas où $h_{\mu\nu}$ est suffisamment petit — c'est-à-dire m suffisamment petit — pour pouvoir se limiter aux premiers termes du développement en série de (2 b) :

$$(2c) \qquad \delta\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{1}{2}\delta^2\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4}\delta T^{\mu\nu} = 0.$$

Dans le cas où m est infinitésimal :

$$(2d) \qquad \delta\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu} = 0$$

et l'on montre que la trajectoire de la particule est une géodésique dans le champ de référence.

Nous avons résolu l'équation (2 c) qui donne l'approximation d'ordre supérieur à l'équation (2 d), c'est-à-dire les termes de freinage dû à la radiation gravitationnelle.

Des identités de Bianchi appliquées à l'équation (2 *a*), on obtient, à l'approximation (2 *c*), la relation :

$$(3a)\qquad \left[\delta^2 \mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{16\pi G}{c^4}(T^{\mu\nu} + \delta T^{\mu\nu})\right]_{;\nu} = 0.$$

Cette relation permet d'obtenir l'équation du mouvement d'une masse dans un champ de gravitation par un calcul qui rappelle le calcul classique de Dirac (²) pour déterminer, par un bilan d'énergie, le mouvement d'un électron dans un champ électromagnétique. On remplace l'expression différentielle (3 *a*) par l'expression intégrale (3 *b*) :

$$(3b)\qquad \int \bar{g}^{\alpha}_{\mu}\left[\delta^2 \mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{16\pi G}{c^4}(T^{\mu\nu} + \delta T^{\mu\nu})\right]_{;\nu} d^4x = 0,$$

où l'intégrale est prise sur une sphère d'univers de rayon infinitésimal ε. L'équation (3 *b*) développée en série de ε et de m donne, après un calcul long mais sans ambiguïté, l'équation du mouvement d'une masse m dans un champ de gravitation, à l'approximation m^2 :

$$(4)\qquad 0 = m_0\,\ddot{z}^{\alpha} + \frac{11}{3} G m_0^2 c^{-3}(\dddot{z}^{\alpha} - c^{-2}\ddot{z}^2\dot{z}^{\alpha}) + V^{\alpha},$$

m_0 est la masse observée, V^{α} est une expression due aux termes de la fonction de Green bitensorielle qui, dans un espace courbe, ne s'annulent pas à l'intérieur du cône de lumière. Ces termes apparaissent dans $\delta^2 \mathcal{G}^{\mu\nu}$ lorsqu'on remplace les $\gamma^{\mu\nu}$ et leurs dérivées premières par leurs expressions en termes des fonctions de Green bitensorielles. Les conditions aux limites choisies sont celles des ondes retardées.

Il est intéressant de comparer l'équation (4) avec l'équation du mouvement d'un électron e dans un champ électromagnétique $F_{\alpha\beta}$, à l'approximation e^2, dans les deux cas suivants (³) :

Espace à courbure nulle (²) :

$$0 = m_0\ddot{z}^{\alpha} - ec^{-1}F^{\mathrm{en}\,\alpha}{}_{\beta}\dot{z}^{\beta} - \frac{2}{3}e^2c^{-3}(\dddot{z}^{\alpha} - c^{-2}\ddot{z}^2\dot{z}^{\alpha}).$$

Espace à courbure non nulle (¹) :

$$0 = m_0\ddot{z}^{\alpha} - ec^{-1}F^{\mathrm{en}\,\alpha}{}_{\beta}\dot{z}^{\beta} - \frac{2}{3}e^2c^{-3}(\dddot{z}^{\alpha} - c^{-2}\ddot{z}^2\dot{z}^{\alpha}) + \mathcal{F}^{\alpha},$$

où $\mathcal{F}^{\alpha}$ est un terme semblable à V^{α} et ayant la même origine. On remarque, entre autres, dans l'équation (4), que le terme de freinage $\dddot{z}^{\alpha} - c^{-2}\ddot{z}^2\dot{z}^{\alpha}$ a un signe opposé à celui auquel logiquement on s'attendrait. Toutefois, la présence du terme V^{α} interdit toute conclusion hâtive. Cette étude soulève plusieurs questions : interprétation physique de la condition $\gamma^{\mu\nu}{}_{;\nu}$, influence de V^{α}, etc. qui seront considérées ultérieurement.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) La notation et les techniques utilisées sont celles de B. S. De Witt et R. W. Brehme, *Ann. Phys.*, 9, 1960, p. 220. Un point désigne la dérivée covariante absolue par rapport au temps propre τ de la particule, ainsi :

$$\ddot{z}^{\alpha}(\tau) = \frac{d^2 z}{d\tau^2} + \Gamma_{\beta\gamma}{}^{\alpha}\frac{dz^{\beta}}{d\tau}\frac{dz^{\gamma}}{d\tau},$$

où $z^{\alpha}(\tau)$ est la ligne d'univers de la particule

$$\mathcal{G}^{\mu\nu} = g^{\frac{1}{2}}\left(R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}R\right),$$

$$T^{\mu\nu} = mc\int \bar{g}^{\mu}{}_{\alpha}\bar{g}^{\nu}{}_{\beta}\,\dot{z}^{\alpha}\dot{z}^{\beta} g^{\frac{1}{4}}(x)\,\delta^{(4)}(x, z) g^{-\frac{1}{4}}(z)\,d\tau.$$

(2) P. A. M. Dirac, *Proc. Roy Soc.*, A 167, 1938, p. 148.

(3) $F_{\alpha\beta} = F_{\alpha\beta}^{\text{en}} + F_{\alpha\beta}^{\text{retardées}}$.

ÉLECTROSTATIQUE. — *Recherche d'équations aux différences finies pour des points situés à la limite d'une distribution superficielle de charges. Cas des systèmes de révolution.* Note (*) de M. **Jacques Gélard**, transmise par M. Léopold Escande.

En dehors d'une distribution superficielle de charges sur une surface (S) (*fig.* 1) le potentiel obéit à l'équation de Laplace ($k = 1$)

$$\left\{ \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{k}{R}\frac{\partial}{\partial R} \right\} V(R, z) = 0.$$

Sur la surface (S) les conditions aux limites s'écrivent [1]

$$(1) \quad V_{(+)} = V_{(-)}, \qquad \frac{\partial V_{(+)}}{\partial n} - \frac{\partial V_{(-)}}{\partial n} = -\frac{\sigma}{\varepsilon_0}, \qquad \text{avec} \quad \frac{\partial}{\partial n} = \left(\overrightarrow{n}.\overrightarrow{\text{grad}}\right) = (n_z\, dz + n_R\, dR).$$

Nous allons déterminer des équations aux différences finies pour des points situés à la limite d'une distribution superficielle de charges dans le cas de surfaces (S) particulièrement intéressantes.

1. *Surface* (S) *dont la méridienne est une demi-droite perpendiculaire à l'axe de révolution* (*fig.* 2). — Le potentiel dans la région voisine de O peut s'exprimer par une somme de deux fonctions, l'une régulière ψ vérifiant $\Delta\psi = 0$, l'autre G obéissant aux relations (1) et vérifiant $\Delta G = r^4 f(r, \theta, \text{Log}\, r/h)$ à l'approximation du quatrième ordre. Le développement du potentiel peut alors s'écrire [2] :

$$\begin{aligned}
(2) \quad V = \psi - \frac{\sigma_0 a}{2\pi\varepsilon_0}&\left[\frac{r}{a}\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) - \frac{r^2}{4a^2}\text{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^2}{8a^2}\cos 2\theta\right.\\
&\left. - \frac{3r^3}{16a^3}\cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^3}{16a^3}\cos\theta\sin^2\theta - \frac{5r^4}{32a^4}\cos^2\theta\,\text{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^4}{128a^4}\text{Log}\frac{r}{h}\right]\\
- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma'_0 a^2}{2}&\left[\frac{r^2}{a^2}\left(\theta\sin 2\theta - \cos 2\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right)\right.\\
&+ \frac{r^3}{4a^3}\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) - \frac{r^3}{12a^3}\cos\theta + \frac{r^3}{9a^3}\cos^3\theta\\
&\left. + \frac{5}{24}\frac{r^4}{a^4}\cos\theta\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) + \frac{r^4}{96a^4}\text{Log}\frac{r}{h}\right]\\
- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\sigma''_0 a^3}{6} - \frac{\sigma'_0 a^2}{24}\right)&\left[\frac{r^3}{a^3}\left(\theta\sin 3\theta - \cos 3\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right)\right.\\
&\left. + \frac{r^4}{4a^4}\left(\theta\sin 2\theta - \cos 2\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right)\right]\\
- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\sigma'''_0 a^4}{24} - \frac{\sigma''_0 a^3}{48} - \frac{\sigma'_0 a^2}{48}\right)&\left[\frac{r^4}{a^4}\left(\theta\sin 4\theta - \cos 4\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right)\right].
\end{aligned}$$

Au point O (*fig.* 5) la fonction ψ vérifie l'équation aux différences finies habituelle $a_0\,\psi_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i\,\psi_i$ [3]. La loi de superposition des potentiels nous

permet d'obtenir la relation $a_0 V_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i V_i - a_0 G_0 + \sum_{i=1}^{i=8} a_i G_i$, d'où l'on déduit sans difficultés l'expression cherchée :

$$(3) \quad a_0 V_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i V_i + \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0}\left[144p^3 - 12p^2 + 60p - \frac{13}{2} + \frac{12 + \text{Log}\,2}{2\pi} + \frac{3\,\text{Log}\,2}{16p^2\pi} + \frac{13}{8p^2\pi}\right]$$
$$+ \frac{\sigma'_0 h^2}{\varepsilon_0}\left[24p^3 + 11p + \frac{5p\,\text{Log}\,2}{\pi} - 7 + \frac{5}{12p} + \frac{13\,\text{Log}\,2 - 2}{24p\pi} - \frac{13}{6p^2}\right]$$
$$+ \frac{\sigma''_0 h^3}{2\pi\varepsilon_0}\left[24p^2\,\text{Log}\,2 - 10p\pi - \frac{4}{3}\pi + \frac{35}{3}\text{Log}\,2 - \frac{13\pi}{3p}\right] - \frac{\sigma'''_0 h^4}{\pi\varepsilon_0} p[8p^2 + 3]\,\text{Log}\,2.$$

A l'approximation du second ordre, on trouve dans les mêmes conditions,

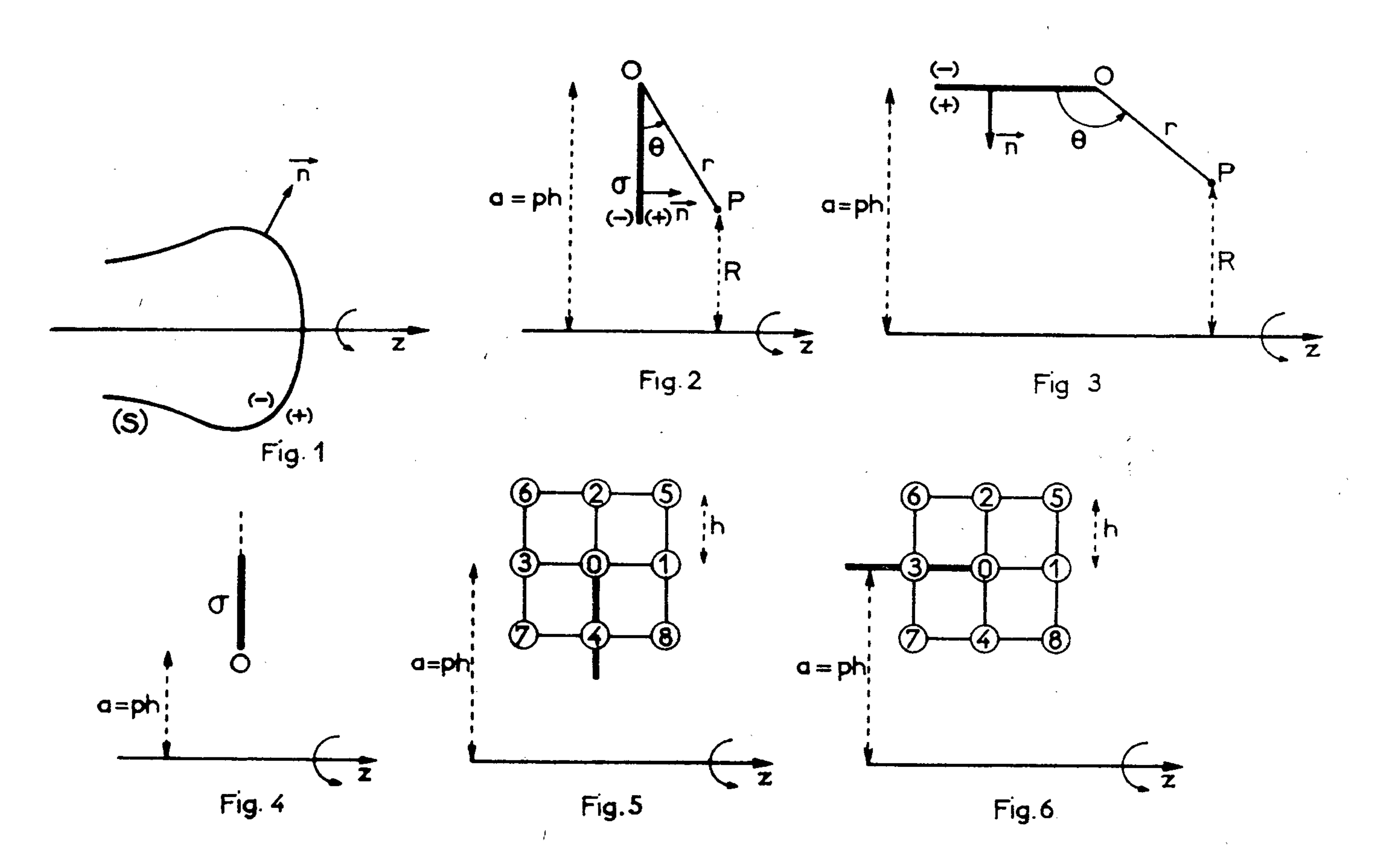


Fig. 1 Fig. 2 Fig. 3 Fig. 4 Fig. 5 Fig. 6

une formule normale et une formule diagonale :

$$8p(0) = (2p+1)(2) + (2p-1)(4) + 2p[(1)+(3)] + p\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}h,$$

$$8p(0) = (2p+1)[(5)+(6)] + (2p-1)[(7)+(8)] + \left(2p - \frac{1}{2}\right)\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}h + (p-1)\frac{\sigma'_0}{\varepsilon_0}h^2.$$

Pour une discontinuité comme celle de la figure 4 il suffit de changer p en $-p$, σ_0 en $-\sigma_0$, σ''_0 en $-\sigma''_0$ dans la relation (3). Par superposition de ces deux types de discontinuité, on retrouve les formules établies dans le cas d'une distribution σ continue [4].

2. *Surface* (S) *dont la méridienne est une demi-droite parallèle à l'axe de révolution* (*fig.* 3). — On a pour V le développement

$$
\begin{aligned}
V = \psi &- \frac{\sigma_0 a}{2\pi\varepsilon_0}\Big[\frac{r}{a}\Big(\theta\sin\theta - \cos\theta \,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big) + \frac{r^2}{2a^2}\,\theta\sin^2\theta - \frac{r^2}{2a^2}\sin\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} \\
&\quad + \frac{r^2}{8a^2}\sin\theta\cos\theta + \frac{r^3}{3a^3}\,\theta\sin^3\theta - \frac{r^3}{3a^3}\sin^2\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} + \frac{r^3}{48a^3}\cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} \\
&\quad + \frac{r^4}{4a^4}\,\theta\sin^4\theta - \frac{r^4}{4a^4}\sin^3\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} \\
&\quad + \frac{r^4}{32a^4}\sin\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} - \frac{5}{576}\,\frac{r^4}{a^4}\sin\theta\cos\theta\Big] \\
&- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\,\frac{\sigma'_0 a^2}{2}\Big[\frac{r^2}{a^2}\Big(\theta\sin 2\theta - \cos 2\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big) + \frac{r^3}{a^3}\sin\theta\cos\theta\Big(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big) \\
&\quad + \frac{2}{3}\,\frac{r^4}{a^4}\sin^2\theta\cos\theta\Big(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big) + \frac{r^3}{2a^3}\sin\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} \\
&\quad + \frac{r^4}{3a^4}\sin^2\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} + \frac{r^4}{96a^4}\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} - \frac{r^3}{60a^3}\sin\theta - \frac{r^4}{160a^4} + \frac{r^2\cos 2\theta}{15a^2}\Big] \\
&- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\,\frac{\sigma''_0 a^3}{6}\Big[\frac{r^3}{a^3}\Big(\theta\sin 3\theta - \cos 3\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big) + \frac{3}{2}\,\frac{r^4}{a^4}\,\theta\sin^2\theta\cos^2\theta \\
&\quad - \frac{r^4}{2a^4}\,\theta\sin^4\theta - \frac{2r^4}{a^4}\sin\theta\cos^3\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h} + \frac{3}{4}\,\frac{r^4}{a^4}\sin 2\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big] \\
&- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\,\frac{\sigma'''_0 a^4}{24}\Big[\frac{r^4}{a^4}\Big(\theta\sin 4\theta - \cos 4\theta\,\mathrm{Log}\,\frac{r}{h}\Big)\Big].
\end{aligned}
$$

D'où l'on déduit l'équation aux différences finies valable en O (*fig.* 5)

$$
\begin{aligned}
a_0 V_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i V_i &+ \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}\,h\Big[144p^3 + 60p - \frac{20}{p} - \frac{9}{p^3}\Big] \\
&+ \frac{\sigma'_0}{\varepsilon_0}\,h^2\Big[24p^3 + 11p - p\,\frac{\mathrm{Log}\,2}{\pi} - \frac{1}{4p} - 3\,\frac{\mathrm{Log}\,2}{8p\pi} + \frac{1}{12p\pi}\Big] \\
&+ \frac{\sigma''_0 h^3}{\varepsilon_0}\Big[p - \frac{1}{p}\Big] - \frac{\sigma'''_0 h^4}{\pi\varepsilon_0}\,p\,(8p^2 + 3)\,\mathrm{Log}\,2.
\end{aligned}
$$

A l'approximation du second ordre, on trouve les deux expressions

$$8p(0) = (2p+1)(2) + (2p-1)(4) + 2p[(1)+(3)] + \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0}\Big[p - \frac{1}{4p}\Big],$$

$$8p(0) = (2p+1)[(5)+(6)] + (2p-1)[(7)+(8)] + \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0}\Big[2p - \frac{1}{2p}\Big] + p\,\frac{\sigma'_0}{\varepsilon_0}\,h^2.$$

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) *Voir* É. DURAND, *Électrostatique et Magnétostatique*, Masson, Paris, 1953.

(2) Les premiers termes de ces développements correspondent à $k = 0$ (systèmes plans). PH. DURAND, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1864.

(3) É. DURAND, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2355.

(4) J. GELARD, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3455.

OPTIQUE ÉLECTRONIQUE. — *Sur une méthode d'intégration numérique des trajectoires marginales en Optique électronique.* Note (*) de Mlle **Renée Lapeyre** et M. **Michel Laudet**, transmise par M. Gaston Dupouy.

Étude des conditions de convergence d'une méthode itérative pour l'intégration numérique des trajectoires marginales en Optique électronique. Établissement d'une nouvelle formule du type Runge-Kutta permettant une approximation d'ordre respectivement 5 et 4 sur la fonction et sa dérivée. Application numérique.

Nous nous proposons dans cette Note de déterminer les conditions suffisantes de convergence d'une méthode par approximations successives permettant d'intégrer numériquement, pour des conditions initiales données, l'équation différentielle

$$y'' + f(x)y = \varphi(x, y, y') \tag{E}$$

qu'on rencontre en particulier en Optique électronique, dans le calcul à l'approximation du troisième ordre, des trajectoires marginales pour des systèmes de révolution ou présentant un plan de symétrie [1].

A l'équation (E) associons l'équation (E′) :

$$Y'' + f(x)Y = 0. \tag{E′}$$

Désignons par y_n et y'_n les valeurs obtenues au point x_n pour la solution envisagée de (E), et par $y_n(x)$ et $Y_n(x)$ celles de (E) et de (E′) satisfaisant à

$$y_n(x_n) = y_n, \qquad y'_n(x_n) = y'_n \qquad \text{et} \qquad Y_n(x_n) = y_n, \qquad Y'_n(x_n) = y'_n.$$

Considérons la suite des fonctions $y_{n0}(x)$, $y_{n0}(x)$, $\ldots$, $y_{n,p+1}(x)$ respectivement solutions des équations différentielles :

$$\begin{array}{llll}
y'' + f(x)y = 0, & \text{avec } y_{n,0}(x_n) = y_n & \text{et} & y'_{n,0}(x_n) = y'_n; \\
y'' + f(x)y = \varphi[x, y_{n,0}(x), y'_{n,0}(x)], & \text{avec } y_{n,1}(x_n) = y_n & \text{et} & y'_{n,1}(x_n) = y'_n; \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, & \ldots\ldots\ldots & & \ldots\ldots\ldots; \\
y'' + f(x)y = \varphi[x, y_{n,p+1}(x), y'_{n,p+1}(x)], & \text{avec } y_{n,p}(x_n) = y_n & \text{et} & y'_{n,p}(x_n) = y'_n.
\end{array}$$

Nous dirons que

$$y_n(x_{n+1}) = \lim_{p \to \infty} y_{n,p}(x), \qquad \text{avec} \quad x_{n+1} = x_n + h.$$

Posons

$$z_{n,p}(x) = z_{n,p+1}(x) - z_{n,p}(x),$$

ce qui entraîne

$$z_{n,p}(x_n) = z'_{n,p}(x_n) = 0.$$

$z_{n,p}(x)$ est donc solution de l'équation différentielle du premier ordre :

$$2Y'_n(x)\,u(x) + Y_n(x)\,u'(x) = \varphi[x,\, y_{n,p}(x),\, y'_{n,p}(x)] - \varphi[x,\, y_{n,p-1}(x),\, y'_{n,p-1}(x)]$$

dont la solution répondant aux conditions initiales est

$$u_{n,p}(x) = \frac{1}{[Y_n(x)]^2}\int_{x_n}^{x} Y_n(x)\,\{\varphi[x,\, y_{n,p}(x),\, y'_{n,p}(x)] - \varphi[x,\, y_{n,p-1}(x),\, y'_{n,p-1}(x)]\}\,dx.$$

Supposons que sur l'intervalle d'étude $\Delta = (x_n,\, x_{n+1})$:

$$\left|\frac{\partial\varphi}{\partial y}(x, y, y')\right| \leqq M_n \qquad \text{et} \qquad \left|\frac{\partial\varphi}{\partial y'}(x, y, y')\right| \leqq N_n,$$

on aura d'après le théorème des accroissements finis :

$$\begin{aligned} &|\varphi[x,\, y_{n,p}(x),\, y'_{n,p}(x)] - \varphi[x,\, y_{n,p-1}(x),\, y'_{n,p-1}(x)]| \\ &\quad \leqq M_n\,|y_{n,p}(x) - y_{n,p-1}(x)| + N_n\,|y'_{n,p}(x) - y'_{n,p-1}(x)|. \end{aligned}$$

La série des fonctions $z_{n,p}(x)$ peut alors être majorée par une série numérique qui sera convergente sur Δ si

$$\frac{|Y_n(x)|.|Y_n(\zeta)|}{|Y_n(\xi)|^2}\,|Mh^2 + Nh| < 1, \qquad \text{avec } \zeta \text{ et } \xi \in \Delta \qquad \text{et} \qquad Y_n(\xi) \neq 0,$$

ce qui entraîne la convergence uniforme de la série $z_{n,p}(x)$.

La détermination des trajectoires marginales par cette méthode se fait avec une précision comparable à celle obtenue dans le cas des trajectoires paraxiales, il suffit en effet de comparer les erreurs commises sur y_n et Y_n dans les exemples déjà traités pour le premier groupe de formules ([2]); il apparaît donc intéressant pour les trajectoires marginales d'établir des expressions conduisant à des erreurs d'ordre respectivement 5 et 4 sur le calcul de y et y'.

Soient

$$\left\{\begin{array}{lll} x_{ni} = x_n + \theta_i h, & \text{avec} & 0 < i < q; \\ y_{ni} = y_n + \theta_i h y'_n + \dfrac{h^2}{2}\displaystyle\sum_{j=0}^{i-1} B_{ij}\, y''_{nj}, & \text{»} & x_{n0} = x_n; \\ y_{ni} = y'_n + h\displaystyle\sum_{j=0}^{i} A_{ij}\, y''_{nj}, & \text{»} & y_{n0} = y_n; \\ y_{n+1} = y_n + h y'_n + \dfrac{h^2}{2}\displaystyle\sum_{q=0}^{q-1} B_{qj}\, y''_{nj}, & \text{»} & z_{n0} = z_n; \\ y'_{n+1} = y'_n + h\displaystyle\sum_{j=0}^{q} A_{qj}\, y''_{nj} & & \end{array}\right.$$

les formules générales à partir desquelles on peut calculer y_{n+1} et y'_{n+1} en fonction des valeurs obtenues pour y_n et y'_n.

On montre qu'à l'ordre $q = 2$ il est possible de déterminer les paramètres θ_i, B_{ij}, A_{ij}, B_{qj}, A_{qj}, de manière à réaliser $\alpha = 5$, $\beta = 4$; on a alors

$$\begin{aligned} y_{n+1} = {} & y_n\left\{1-\frac{h^2}{6}\left[f_n+2f_{n+\frac{1}{2}}-\frac{h^2}{4}f_{n+\frac{1}{2}}f_n\right]\right\} \\ & + y'_n h\left\{1-\frac{h^2}{6}f_{n+\frac{1}{2}}\right\}+\frac{h^2}{6}\left\{\Phi_n+2\Phi_{n+\frac{1}{2}}-\frac{h^2}{4}f_{n+\frac{1}{2}}\Phi_n\right\}, \\ y'_{n+1} = {} & -y_n\frac{h}{6}\left\{f_n+4f_{n+\frac{1}{2}}-\frac{h^2}{2}f_{n+\frac{1}{2}}f_n\right\} \\ & + y'_n\left\{1-\frac{h^2}{3}f_{n+\frac{1}{2}}\right\}-\frac{h}{6}f_{n+1}y_{n+1}+\frac{h}{6}\left\{\Phi_n+4\Phi_{n+\frac{1}{2}}+\Phi_{n+1}-\frac{h^2}{2}f_{n+\frac{1}{2}}\Phi_n\right\}. \end{aligned}$$

Ces formules ont été appliquées avec un pas 0,01 à l'intégration numérique de l'équation différentielle déjà étudiée ([3]) :

$$y''+\frac{3}{(1+x^2)^2}y=y^3-x(1+x^2)y^2y'+(1+x^2)^2yy'^2, \qquad \text{avec} \quad x_0=0, \quad y_0=1, \quad y'_0=0.$$

Les résultats numériques sont présentés dans le tableau ci-joint :

x.	y_{exact}.	$\Delta y \times 10^{+10}$.	$-y'_{\text{exact}}$.	$\Delta y' \times 10^{+10}$.
0,00	1,000 000 000 0	00	0,000 000 000 0	—000
0,20	0,961 538 461 5	—08	0,369 822 485 2	—130
0,40	0,862 068 965 5	—43	0,594 530 321 0	—196
0,60	0,735 294 117 6	—68	0,648 788 927 3	—043
0,80	0,609 756 097 5	+60	0,594 883 997 6	+112
1,00	0,500 000 000 0	+32	0,500 000 000 0	+163

(*) Séance du 24 octobre 1960.

([1]) G. Dupouy, *Éléments d'Optique électronique*, A. Colin, Paris, 1951.

([2]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 679.

([3]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 863.

SPECTROSCOPIE. — *Sur un modèle à sphères rigides dans la théorie du déplacement et de l'élargissement par chocs des raies spectrales. Sphères rigides attractives.* Note (*) de MM. **Frédéric Schuller** et **Boris Vodar**, présentée par M. Jean Lecomte.

On effectue un calcul quantique du déplacement et de l'élargissement des raies spectrales, dus aux chocs entre atomes, en traitant le potentiel d'interaction comme une perturbation qui se superpose à un potentiel de sphères rigides. Dans le cas du potentiel de London, on retrouve les résultats d'une théorie quasi classique.

Dans une théorie de chocs, valable à basse pression, le déplacement D et l'élargissement E des raies spectrales sont donnés par les formules de Lindholm [1]. Bien que ces formules aient d'abord été établies pour le cas où le mouvement des deux atomes entrant en collision s'effectue suivant des trajectoires classiques, on démontre [1], [2], [3], [4] qu'elles restent valables lorsque ce mouvement est représenté par une fonction d'onde ψ_{kl}. Elles s'écrivent alors

$$(1)\quad \left\{\begin{aligned} D &= \left\langle -\frac{\hbar n}{2mk}\sum_l (2l+1)\sin\left[2(\hat{\delta}_l-\delta_l)\right]\right\rangle_B \qquad (\langle\,\rangle_B,\ \text{moyenne de Boltzmann}),\\ E &= \left\langle \frac{\hbar n}{mk}\sum_l (2l+1)\left\{1-\cos\left[2(\hat{\delta}_l-\delta_l)\right]\right\}\right\rangle_B. \end{aligned}\right.$$

Ici le paramètre continu k mesure le moment cinétique de la collision et est relié à l'énergie de translation E par la relation $k = h^{-1}\sqrt{2mE}$; le nombre quantique angulaire l est lié au paramètre d'impact; m et n représentent respectivement la masse réduite des deux atomes et la densité numérique du gaz perturbateur. Les grandeurs δ_l pour l'état de base et $\hat{\delta}_l$ pour l'état excité sont les phases qui interviennent dans la forme asymptotique à distance infinie de la fonction d'onde ψ_{kl}. Elles caractérisent le choc et sont déterminées par la forme du potentiel d'interaction V.

Nous calculerons ces grandeurs par une méthode de perturbation, en utilisant à l'approximation zéro un potentiel V_0 de sphères rigides : $V_0(r) = 0$, pour $r > \sigma$; $V_0(r) = \infty$ pour $r < \sigma$.

Soit ψ^0_{kl} la fonction d'onde qui correspond à ce potentiel, nous écrivons $\psi_{kl} = \psi^0_{kl} + \chi_{kl}$ et nous exprimons la perturbation χ_{kl}, qui est due à un potentiel perturbateur $V'(r)$ se superposant à V_0, au moyen d'une fonction de Green [5] :

$$\chi_{kl} = \int_0^\infty r'^2\, U(r')\, \psi^0_{kl}(r')\, G(r, r')\, dr' \qquad \left(U = \frac{2m}{\hbar^2}V'\right).$$

On démontre alors que la fonction de Green $G(r, r')$ est donnée par

$$G(r, r') = -\psi^0_{kl}(r')\,\frac{1}{r}\cos\left(kr - \frac{1}{2}l\pi + \delta^0_l\right).$$

Un calcul supplémentaire fournit ensuite pour la grandeur $\hat{\delta}_l$ cherchée la relation

$$\hat{\delta}_l = \hat{\delta}_l^0 - k\langle \psi_{kl}^0 | \mathrm{U} | \psi_{kl}^0 \rangle. \tag{2}$$

Nous supposons par la suite que le rayon σ, qui caractérise le potentiel V_0 est le même pour l'état de base et l'état excité, ce qui donne $\hat{\delta}_l^0 = \delta_l^0$. Ceci nous paraît justifié dans le cas d'une transition où le nombre quantique principal ne change pas (raies de résonance des alcalins). Le problème d'une variation de δ_l^0, qui est mathématiquement compliqué, sera discuté ultérieurement [4].

Le calcul de l'élément de matrice $\langle \psi_{kl}^0 | \mathrm{U} | \psi_{kl}^0 \rangle$ dans (2) s'effectue en remplaçant dans l'expression :

$$\psi_{kl}^0 = \left[J^2_{l+\frac{1}{2}}(k\sigma) + J^2_{-l-\frac{1}{2}}(k\sigma) \right]^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{\pi}{2kr} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ J_{-l-\frac{1}{2}}(k\sigma) J_{l+\frac{1}{2}}(kr) - J_{l+\frac{1}{2}}(k\sigma) J_{-l-\frac{1}{2}}(kr) \right\} \tag{3}$$

les fonctions de Bessel $J_{l+1/2}$ et $J_{-l-1/2}$ par des expressions approchées, établies pour les grandes valeurs de l'indice et de l'argument [6]. Ce calcul, dont nous ne donnerons ici que les résultats, nous oblige à distinguer les deux cas :

1° $l > k\sigma$, chocs non centraux;

2° $l < k\sigma$, chocs centraux.

On obtient, dans chacun des deux cas, une contribution différente pour le déplacement et l'élargissement, les valeurs réelles étant la somme des deux.

En utilisant un potentiel d'interaction de London en $-b/r^6$ on aboutit aux résultats suivants :

$$\left\{ \begin{aligned} \mathrm{D} &= -\tau n \frac{b}{\sigma^5} \frac{\pi}{4} \\ \mathrm{E} &= \tau n \left(\frac{b}{\sigma^5} \right)^2 \frac{18\pi^3}{128\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{m}{2\mathrm{KT}}} \end{aligned} \right\} \text{chocs non centraux,} \tag{4}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \mathrm{D} &= -\tau n \frac{b}{\sigma^5} \frac{2}{5} (1 + x) e^{-x} \\ \mathrm{E} &= \tau n \frac{50}{3\pi\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{2\mathrm{KT}}{m}} \left[1 + \frac{3}{2} \frac{1}{y} (\operatorname{sh} y - y \operatorname{ch} y) \mathrm{K}_2(y) \right] \end{aligned} \right\} \text{chocs centraux,} \tag{5}$$

où τ est la section efficace $\tau = \sigma^2 \pi$, et $K_2(y)$ la fonction de Bessel modifiée. Les expressions relativement compliquées de $x = (4\pi/5)\left(\sqrt{\pi}/4\right)^{1/3} \sqrt{m/2\mathrm{KT}}\,(b/\sigma^5)$ et de $y = (4\pi/5)\,(2/5)^{1/2} \sqrt{m/2\mathrm{KT}}\,(b/\sigma^5)$ dans (5) proviennent d'un calcul approché des moyennes de Boltzmann des équations (1). Dans certains cas, il est permis de poser $x, y \ll 1$ et d'utiliser les expressions ainsi simplifiées.

On constate que les résultats ci-dessus ne constituent que le cas limite classique de la théorie quantique. En effet, on peut montrer qu'on les

obtient également par la théorie aux trajectoires classiques de Weisskopf-Lindholm ([1]) quand on y introduit le modèle des sphères rigides avec chocs centraux et non centraux (c'est-à-dire avec des trajectoires $r(t) = \sqrt{\bar{v}^2 t^2 + \rho^2}$ pour $\rho > \sigma$ et des trajectoires $r(t) = \pm\sqrt{\bar{v}^2 t^2 + \sigma^2}$ pour $\rho < \sigma$). L'importance de la modification, produite par l'introduction d'un modèle de sphères rigides, est d'autant plus grande que le « rayon physique » σ approche ou dépasse le « rayon optique » : $\rho_0 = 3\,\pi b/4\bar{v}$. Un exemple où il en est ainsi concerne celui de Rb perturbé par A. Avec les valeurs : $b = 3{,}76 \cdot 10^{-32}$ ([7]), $\sigma = 6{,}5$ Å, on trouve $\rho_0 = 0{,}67$ Å $\ll \sigma$; $D = -0{,}44$ cm^{-1}, $E = 0{,}83$ cm^{-1}. Ces valeurs sont plus proches des valeurs expérimentales $D = -0{,}51$ cm^{-1}, $E = 0{,}63$ cm^{-1} ([8]) que les valeurs $D = -0{,}18$ cm^{-1}, $E = 0{,}52$ cm^{-1}, données par la formule de Weisskopf-Lindholm ([1]). Cet accord n'apparaît cependant pas très significatif car σ et b sont actuellement très mal connus; ainsi le principal argument en faveur de l'usage d'un diamètre de choc physique réside dans le fait qu'on évite l'écueil de la formule de Weisskopf-Lindholm, prévoyant un rapport D/E constant, contrairement aux faits expérimentaux.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) E. LINDHOLM, *Thèse*, Uppsala, 1942.
(2) SOBELMAN, *Thèse*, Moscou, 1955.
(3) M. BARANGER, *Phys. Rev.*, 111, 1958, p. 481.
(4) F. SCHULLER, *Thèse* (à paraître *J. Rech. C. N. R. S.*).
(5) L. I. SCHIFF, *Quantum Mechanics*, 2e éd., Mc Graw-Hill, 1955, p. 166.
(6) G. PETIAU, *La théorie des fonctions de Bessel*, C. N. R. S., 1955, p. 151.
(7) MASSEY-BURHOP, *Electronic and ionic impact phenomena*, Oxford, 1952, p. 397.
(8) S. Y. CH'EN, *Rev. Mod. Phys.*, 29, 1957, p. 54.

(*Laboratoire des Hautes Pressions du C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Réactions de réduction et d'alcoylation sur le cyano-9 benzoyl-10 anthracène.* Note (*) de MM. **Guy Rio** et **Bernard Sillion**, transmise par M. Charles Dufraisse.

Ce cétonitrile est réduit par certains magnésiens en son dihydrure-9.10. En présence de chlorure de benzyle, il y a, en plus, alcoylation en 9, conduisant au cyano-9 benzoyl-10 benzyl-9 dihydro-9.10 anthracène. Le chlorure de benzylmagnésium transforme le benzoyl-9 anthracène en benzoyl-9 benzyl-10 dihydro-9.10 anthracène et (benzyl-4 benzoyl)-9 anthracène, par deux additions 1,6 concurrentes.

Il a été récemment montré [1] que les cyano-9 anthracènes méso-alcoylés ou arylés réagissent avec le chlorure de benzylmagnésium uniquement par addition 1,6. S'il n'y a pas d'halogénure de benzyle en excès, on isole un cyano-9 benzyl-10 dihydroanthracène; dans le cas contraire, il y a alcoylation spontanée, conduisant au cyano-9 dibenzyl-9.10 dihydroanthracène.

Nous avons cherché à étendre ces réactions à un nitrile cétonique, le cyano-9 benzoyl-10 anthracène, XIII. Toutefois, afin de voir si le benzoyle pouvait intervenir pour son propre compte dans la réaction, nous avons au préalable étudié le comportement du benzoyl-9 anthracène, III.

1. Le chlorure de benzylmagnésium, seul ou avec un excès de chlorure de benzyle, transforme le benzoyl-9 anthracène, III, en un mélange de deux composés : le benzoyl-9 benzyl-10 dihydro-9.10 anthracène, I (Rdt 11 %), déjà décrit [2] et le (benzyl-4 benzoyl)-9 anthracène, IV.

Ce dernier, $C_{28}H_{20}O$, dimorphe, F_{inst} 118-120°, resolidification et seconde fusion à 124-125°, est obtenu en prépondérance (Rdt 35 %); sa structure est démontrée par oxydation chromique, qui fournit de l'anthraquinone et de l'acide *p*-benzoylbenzoïque, V ([3]).

On peut considérer que les deux composés I et IV résultent de deux additions 1,6 du magnésien, orientées par le carbonyle. L'une, à travers le noyau anthracénique, donne l'énolate magnésien II, hydrolysé en composé dihydroanthracénique I; on peut noter qu'on n'a pas observé d'alcoylation de l'énolate II par le chlorure de benzyle. L'autre addition 1,6, à travers le noyau benzénique, conduirait à un dérivé dihydrobenzénique qui, selon toute vraisemblance, s'aromatiserait directement en donnant le composé IV.

La formation préférentielle de ce dernier composé doit sans doute être attribuée à une plus grande conjugaison entre carbonyle et noyau benzénique, coplanaires, qu'entre carbonyle et noyau anthracénique, non coplanaires, ainsi qu'en témoigne le spectre ultraviolet du benzoyl-9 anthracène, très proche de celui de l'anthracène ([4]).

2. Le cyano-9 benzoyl-10 anthracène, XIII, $C_{22}H_{13}ON$, dimorphe, F_{inst} 184-185°, resolidification et seconde fusion à 187-188°, a été obtenu par cyanuration de la cétone bromée, déjà connue ([5]), à l'aide de CuCN.

Lorsqu'il est traité par le magnésien benzylique contenant un excès de $C_6H_5CH_2Cl$, on observe la formation immédiate d'un complexe brun-rouge qui devient lentement beige. Le seul composé isolé (Rdt 60 %), même après chromatographie, est le cétonitrile monobenzylé, X *a*, $C_{29}H_{21}ON$, dimorphe, F_{inst} 167-168°, resolidification et nouvelle fusion à 175-176°. Sous l'influence des bases fortes (triton B), sous vide, il subit une scission hydrolytique du benzoyle conduisant au cyano-9 benzyl-9 dihydro-9.10 anthracène, IX, $C_{22}H_{17}N$, F_{inst} 147-148°, et à de l'acide benzoïque. L'anhydride acétique dans la pyridine le transforme en acétate d'énol, VIII, $C_{31}H_{23}O_2N$, F_{inst} 177-178°; l'oxydation chromique de ce dernier donne la cyano-9 benzyl-9 anthrone-10, VII, obtenue par ailleurs ([1b]). Ces réactions montrent bien que le cyano et le benzyle du cétonitrile benzylé, X *a*, sont géminés.

En prenant la précaution d'éliminer totalement le chlorure de benzyle en excès du magnésien benzylique (par ébullition prolongée avec un excès de métal), le cyano-9 benzoyl-10 anthracène, XIII, est transformé en un complexe brun-rouge, qui cette fois ne se décolore pas. La décoloration se produit en ajoutant du chlorure de *p*-chlorobenzyle; on obtient alors le cétronitrile chlorobenzylé, X *b*, $C_{29}H_{20}ONCl$, F_{inst} 185-186°.

Par hydrolyse du complexe brun-rouge obtenu par action du magnésien seul, on recueille, après chromatographie, à côté d'anthraquinone et de cétonitrile initial, XIII, une faible quantité de cyano-9 benzoyl-10 dihydro-9.10 anthracène, XII, $C_{22}H_{15}ON$, F_{inst} 190-192°. Ce dernier

composé se forme également en traitant le cétonitrile XIII par le bromure d'isopropylmagnésium ou par le chlorure de *t*-butylmagnésium.

Des réactions précédentes, on peut déduire que la formation des cétonitriles benzylés, X, dépend de la présence d'halogénure de benzyle dans le milieu. Le magnésien benzylique n'introduit pas lui-même le groupe benzyle, et son rôle se borne, comme celui des magnésiens isopropylique et *t*-butylique, à former un intermédiaire susceptible d'être alcoylé. Cet intermédiaire possède sans doute la structure VI, à la fois énolate et cétène-iminate, qui répond en effet aux deux conditions nécessaires. S'il n'y a pas d'halogénure benzylique, l'hydrolyse conduit au dihydrocétonitrile, XII. En présence d'halogénure, par une alcoylation comparable à celle qui a été envisagée dans des cas semblables ([1]), on obtient un second intermédiaire, énolate magnésien, XI, beaucoup moins réactif vis-à-vis de l'halogénure et donnant par hydrolyse le cétonitrile benzylé, X.

Un mécanisme par addition 1,6, orienté par le cyano ou par le carbonyle, ne peut rendre compte simplement de la formation de l'intermédiaire énolate et cétène-iminate, VI. Il semble préférable d'admettre une réduction du cétonitrile, XIII, sous l'influence de l'organométallique.

A notre connaissance, cette réaction est inconnue jusqu'à maintenant pour des composés anthracéniques méso-disubstitués (tels que dicyano-9.10 anthracène et dibenzoyl-9.10 anthracène). Cette réduction s'apparente néanmoins à celles qui ont été observées lorsque le cyano-9 anthracène ([6]) et le benzoyl-9 anthracène ([7]) sont traités par certains magnésiens, bien que, dans ces deux cas, il y ait duplication conduisant à des dérivés du tétrahydrodianthranyle. On peut rattacher tous ces exemples à la transformation, par les magnésiens, des azoïques en hydrazoïques ([8]), pour laquelle on admet un mécanisme radicalique.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) *a*. G. Rio et B. Sillion, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 256; *b*. *ibid*, 250, 1960, p. 869.

(2) J. W. Cook, *J. Chem. Soc.*, 1926, p. 2160.

(3) Th. Zincke, *Liebigs Ann.*, 161, 1872, p. 93.

(4) E. de Barry-Barnett, J. W. Cook et T. E. Ellisson, *J. Chem. Soc.*, 1928, p. 885.

(5) J. W. Cook, *J. Chem. Soc.*, 1926, p. 1282.

(6) R. Calas et R. Lalande, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 2239.

(7) P. L. Julian, W. Cole et T. F. Wood, *J. Amer. Chem. Soc.*, 57, 1935, p. 2508.

(8) M. S. Kharasch et O. Reinmuth, *Grignard Reactions of non Metallic Substances*, Prentice-Hall, New-York, 1954, p. 117 et 1249.

GÉOLOGIE. — *La « série du Pedroso », série-type d'une zone paléogéographique nouvelle dans le Jurassique des Cordillères Bétiques.* Note (*) de M. **Yves Peyre** transmise par M. Paul Fallot.

Parmi les travaux modernes sur la géologie de l'Andalousie, se détachent ceux de M. Blumenthal et de P. Fallot. Sur la base d'études régionales détaillées, ils ont proposé un schéma paléogéographique et structural qui constitue un cadre commode pour de nouvelles études. Les observations qui suivent précisent ce schéma en ce qui concerne la zone « subbétique » de ces auteurs ([1]), ([2]).

La région située entre Archidona et Rute, à la limite des provinces de Cordoue, Grenade et Malaga, n'avait pas encore été étudiée d'une manière précise. Dans un travail préliminaire ([3]), nous avons décrit les formations liasiques de cette zone et souligné les particularités qui les différencient des couches contemporaines qu'on trouve plus au Nord (région d'Estepa) et plus au Sud (Pénibétique du Castillones et Jurassique du Palo de Malaga). Des différences du même ordre existent pour les séries plus récentes.

Cette Note a pour but de décrire sommairement trois séries stratigraphiques et de souligner leurs particularités.

Une première série, synthétique, est prise dans la région d'Estepa [*cf.* ([3]), schéma n° 1]. On y distingue successivement de bas en haut :

1. des masses assez importantes de dolomies, attribuées au Lias inférieur (?);

2. une série de calcaires (200-300 m), plus ou moins bien lités, très souvent oolitiques, riches en encrines et en Brachiopodes qui ont permis d'y reconnaître plusieurs niveaux depuis le Lias inférieur jusqu'à l'Aalénien moyen;

3. des calcaires oolitiques, bien lités admettant des passées de calcaires rouges; la plus ancienne a été datée du Bajocien moyen par des Brachiopodes associés à de très nombreuses encrines, les autres présentent un faciès de calcaire noduleux rouge, dit encore « fausse brèche » ou « faciès andalou ». Ces passées de calcaire noduleux sont extrêmement fossilifères, surtout en Céphalopodes; elles apparaissent dès l'Argovien et on les retrouve au Tithonique et au Berriasien définis grâce aux Calpionelles;

4. une épaisse série marneuse, s'enrichissant en marno-calcaires vers le haut. L'Hauterivien et le Barrémien y ont été mis en évidence grâce à des faunes d'Ammonites. Ces roches sont très riches en *Nannoconus* ([4]);

5. la série marno-calcaire se poursuit sans changements notables de faciès dans le Crétacé moyen (Vraconnien-Cénomanien) identifié grâce aux microfaunes et aussi à quelques Céphalopodes ([4]);

6. le Crétacé supérieur redevient plus marneux; seules les microfaunes ont permis d'en débrouiller la stratigraphie. A partir du Turonien apparaissent des marnes rose saumon caractéristiques ([4]);

7. les couches de passage du Crétacé à l'Éocène qui ont de fortes chances d'exister dans cette région, n'ont pu encore être mises en évidence.

La seconde série étudiée est prise dans la région située entre Archidona et Rute, au voisinage des Sierras du Pedroso et d'Arcas. De la base au sommet :

1. des dolomies rarement visibles;
2. une série calcaire (100-200 m) dont le sommet a été daté du Pliensbachien au Pedroso ([3]). Au-dessus du Pliensbachien, marnes et marno-calcaires prennent rapidement une grande importance, à certains niveaux apparaissent des silex. Des Ammonites ont permis de dater ces assises depuis le Domérien jusqu'à l'Aalénien supérieur ([3]);
3. une épaisse série de marnes, parfois riche en bancs de silex, surmonte la série liasique; dans les niveaux de base elle n'a livré que des Radiolaires et des organismes énigmatiques (« filaments » *auctorum*) rapportés à de petits Lamellibranches (?) ; outre la position stratigraphique, c'est le seul argument qui porte à les rapporter au Dogger. Dans les niveaux plus élevés, on trouve, au sein de formations marneuses souvent rougeâtres, des bancs de calcaires microbréchiques très souvent riches en *Aptychus*: Le long du chemin de fer de Bodadilla à Grenade certaines associations d'*Aptychus* (étudiés par M. Durand Delga) définissent le Jurassique supérieur : km 37,2, *Lamellaptychus* gr. *aplanatus*, *L.* gr. *beyrichi*, *Punctapt.* gr. *punctatus*; km 38,5, *L. bourdeti*, *L.* gr. *beyrichi*. Certains de ces bancs ont livré des Calpionelles du Tithonique supérieur et du Berriasien;
4. la base du Crétacé inférieur présente le même faciès de marnes calcaires souvent rougeâtres que le Jurassique supérieur. L'Hauterivien-Barrémien est caractérisé par : *L.* gr. *atlanticus* (?), *L.* gr. *angulicostatus*, *L.* voisin d'*angulicostatus*;
4'. il se continue par des marnocalcaires clairs à *Nannoconus*, à faciès identique à celui du Barrémien des environs d'Estepa;
5-6. le reste de la série crétacée n'a pas encore été identifiée d'une manière précise dans cette zone.

La troisième série est prise au Sud-Ouest d'Antequera, dans le massif de Valle de Abdalagis. Au rocher de Castillones, on trouve de la base au sommet :

1. des dolomies appartenant probablement au Lias inférieur ayant environ 50 m d'épaisseur (base « rhétienne » ?);
2. des calcaires peu épais (30 m environ); au Castillones leur base est marquée par un conglomérat (3 m) à galets de dolomies; à très faible distance au-dessus du conglomérat le calcaire, riche en encrines, a fourni une faune d'Ammonites et de Brachiopodes du Pliensbachien ([3]);
2'. des calcaires à silex (quelques mètres);
2''. des marnes calcaires assez gréseuses (moins de 10 m);
3. une importante masse de calcaires lités dans laquelle ont été repérés le Bathonien (par la Mission d'Andalousie) et le Callovien ([3]) (150 m environ) et qui se termine par un niveau de calcaires noduleux clairs appartenant au Tithonique supérieur-Berriasien, daté par des Calpionelles.

Dans le chaînon voisin et plus septentrional : la Sierra de Huma, la série du Jurassique supérieur est plus épaisse et plus variée : dans une masse importante de calcaires oolitiques apparaissent des lentilles de calcaire noduleux rouge de type fausse brèche. Il en existe plusieurs passées et la première d'entre elles a été datée de l'Argovien par des faunes d'Ammonites. On retrouve le niveau de fausses brèches claires du Tithonique supérieur-Berriasien daté par des Calpionelles. Puis viennent :

4. des marnocalcaires et des calcaires marneux clairs d'épaisseur variable extrêmement riches en *Nannoconus* du Crétacé inférieur;

5. le Crétacé moyen qui vient au-dessus est constitué de formations toujours minces mais dont le faciès est très variable ([5]), il est de plus transgressif sur le Crétacé inférieur et même parfois sur les calcaires jurassico-berriasiens. Dans le chaînon voisin et homologue du Torcal la base du Crétacé moyen est marquée par un karst analogue à celui du Palo de Malaga ([5]);

6. des marno-calcaires blancs et rouge-saumon, épais, succèdent au Crétacé moyen et l'on rencontre ce même faciès jusque dans l'Éocène inférieur.

Cette dernière série possède un Jurassique assez comparable à celui d'Estepa; on y observe en particulier les mêmes passées de calcaire noduleux rouge dans le Jurassique supérieur; par contre, les formations crétacées sont nettement différentes. Ce qui interdit de les grouper dans une même zone paléogéographique.

Entre les séries septentrionales (Estepa) et méridionales (Castillones) qui possèdent certains traits communs, s'intercale une série (Pedroso) très distincte; parmi ses caractéristiques, je retiendrai les suivantes qui me paraissent essentielles :

1° abondance de formations marneuses dès le Lias, tout au long des temps jurassiques;

2° absence de faciès « fausse brèche » dans le Jurassique supérieur et particulièrement au Tithonique.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

([1]) M. BLUMENTHAL, *Bull. Soc. géol. Fr.* (5), 1, 1931, p. 25-94.

([2]) P. FALLOT, *Est. Geologicos*, Madrid, n° 8, 1948, p. 83-172.

([3]) G. DUBAR, N et Y. PEYRE, *Observations nouvelles sur le Jurassique inférieur et moyen dans les cordillères bétiques sur la transversale de Malaga*, à paraître *Bull. Soc. géol. Fr.*

([4]) Y. PEYRE, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2137.

([5]) M. DURAND DELGA, J. MAGNÉ et Y. PEYRE, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2796.

(*Laboratoire de Géologie du Collège de France.*)

GÉOLOGIE. — *Existence de formations détritiques dans les schistes cristallins du massif de la Dora-Maïra (Alpes cottiennes piémontaises).* Note (*) de M. **Pierre Vialon**, transmise par M. Léon Moret.

Le massif de Dora Maïra, l'un des « massifs cristallins internes » des Alpes occidentales, constitue un vaste ensemble de terrains métamorphiques qu'on subdivise habituellement en deux groupes distincts :

— la série graphitique de Pignerol;

— les gneiss de Dora Maïra [gneiss à grains fins (« gneiss minuti ») et gneiss œillés].

Les relations entre ces deux formations, leur origine et leur âge, tels sont les principaux problèmes posés aux géologues travaillant dans cette région.

Les anciens auteurs italiens ([1]) admettaient l'existence d'un passage continu entre la zone graphitique et les gneiss sous-jacents formant l'ossature du massif de Dora Maïra. La carte italienne au 1/100 000e ([1]), établie au début du siècle, attribue la série graphitique de Pignerol au Carbonifère, sans autre preuve d'ailleurs que la présence de matière charbonneuse. Les gneiss de Dora Maïra, et en particulier les « gneiss ghiandoni », bien que notés en « orthogneiss », sont décrits comme des roches d'origine énigmatique mais non nécessairement éruptive.

Pour G. Dal Piaz ([2]), les gneiss de Dora Maïra sont d'origine ortho certaine et représentent un vieux matériel précambien, déjà métamorphisé et injecté de roches granitiques dès avant le début du Primaire (p. 141). Sur ce socle érodé, la série graphitique et détritique de Pignerol, carbonifère, se dépose en discordance (p. 134-135).

Depuis, R. Michel ([3]), a précisé l'appartenance à un même ensemble cristallophyllien d'origine sédimentaire et selon lui d'âge antéhouiller, des gneiss de Dora Maïra et de la série graphitique de Pignerol.

Mes travaux en cours, au Sud du parallèle de Pignerol, apportent quelques éléments nouveaux à la solution de ces problèmes.

Le massif de Dora Maïra est constitué par un seul ensemble cristallophyllien comportant à sa base des horizons graphiteux. Cette série graphiteuse est essentiellement composée de micaschistes et de gneiss albitiques. Localement on y trouve aussi des horizons conglomératiques, à pâte quartzitique plus ou moins gneissique, englobant des galets de quartz et de gneiss extrêmement étirés. Toutes ces roches sont plus ou moins chargées de produits graphitiques, et comportent par endroits des niveaux uniquement graphiteux, exploités, surtout dans la vallée du Chisone. La zone

graphitique a une valeur d'anticlinal au sein des gneiss de Dora Maïra auxquels elle passe de façon continue vers le haut, et où l'on retrouve parfois de faibles récurrences graphiteuses.

L'unité de la série purement gneissique et de la série graphitique et détritique étant admise, il ne paraît pas anormal de chercher dans les gneiss de Dora Maïra des zones tout aussi détritiques. C'est effectivement ce que mes études ont permis de mettre en évidence. Certains gneiss œillés présentent un faciès à gros yeux de microcline à allure embréchitique, mais la plupart des grandes bandes d'« orthogneiss » ou de « gneiss œillés », de la carte italienne, se révèlent être d'anciens conglomérats. Des galets, étirés, quoique de façon moindre que dans le complexe graphitique, sont inclus dans une pâte gneissique ou micaschisteuse. Cette « pâte » est à biotite (probablement détritique), riche en quartz et en mica blanc, localement à gros feldspaths. Les galets, dont la taille moyenne approche les 10 cm, sont généralement quartzitiques, mais il y a aussi des éléments gneissiques et granitiques. Très rarement on rencontre des galets noirâtres de laves basiques. Ces conglomérats métamorphiques, parfois lenticulaires, se présentent en général en horizons très continus et peuvent atteindre plus de 50 m de puissance. Latéralement, ils passent parfois à des gneiss quartzitiques.

Les formations du contexte sont aussi essentiellement détritiques. Les quartzites sont abondants, plus ou moins micacés, peuvent contenir localement des galets granitiques, et sont souvent feldspathiques, les feldspaths potassiques ayant généralement une origine détritique. Ces quartzites se poursuivent par des bancs micaschisteux plus nettement pélitiques. Des niveaux dolomitiques plus ou moins marmorisés sont interstratifiés dans ces formations. Enfin, d'anciennes roches volcaniques basiques, transformées en amphibolites, s'intercalent souvent au sein de la série.

En résumé, la partie étudiée du massif de Dora Maïra s'avère être d'origine essentiellement détritique. Des grès, des arkoses, avec de gros niveaux conglomératiques, sont métamorphisés avec une intensité qui ne semble pas atteindre la zone à biotite. Outre l'albitisation, toujours présente mais récente, existe une feldspathisation plus ancienne, locale, qui conduit aux faciès embréchitiques signalés ci-dessus. Si cette feldspathisation est effective, elle pose un problème qu'il serait tentant de résoudre par une simple remobilisation sur place du matériel feldspathique détritique.

En ce qui concerne l'*âge des formations du massif de Dora Maïra,* on en est réduit à des suppositions. Il nous est cependant permis de comparer ce massif à des séries réputées permiennes et aux caractères lithologiques très analogues. En effet, la série toute voisine d'Acceglio-col Longet, la série supérieure d'Ambin, le Permo-Carbonifère de la Vanoise, les schistes de Casanna du Val de Bagnes, seraient susceptibles d'appartenir à la même zone paléogéographique. Si cela est exact, *les schistes cristallins du massif*

de Dora Maïra seraient, pour la plus grande part, également d'âge permo-houiller. Pour le moment, nous nous bornerons à signaler cette possibilité, en nous gardant de vouloir déjà tirer des conclusions d'ordre stratigraphique trop hâtives.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) S. Franchi, E. Mattirolo, V. Novarese et A. Stella, *Cartes géologiques d'Italie au 1/100 000e* : n° 55, 1890-1910, n° 67, 1890-1910, nos 78-79, 1930.

(2) G. Dal Piaz, *Boll. della Soc. geologica italiana*, vol. 68, 1939, p. 105-152.

(3) R. Michel, *C. R. som. séances Soc. géol. Fr.*, nos 5-6, 1955, p. 99.

(Laboratoire de Géologie et Minéralogie de la Faculté des Sciences de Grenoble.)

GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE. — *Prospection gravimétrique par mesure directe des dérivées secondes verticales de l'intensité de la pesanteur.* Note (*) de M. **Pham-Van-Ngoc**, présentée par M. André Danjon.

On mesure les dérivées secondes verticales en disposant, sur le terrain, des groupements appropriés de stations complètement indépendants l'un de l'autre. Chaque groupement se compose d'une station centrale et de plusieurs stations marginales. Les mesures topographiques et les mesures gravimétriques peuvent être effectuées ainsi avec le maximum de précision. Quant aux corrections de relief, en général très petites, elles sont calculées globalement pour allier simplicité, rapidité et précision.

Pour d'excellentes raisons, les prospecteurs s'efforcent de fonder l'interprétation gravimétrique sur la carte de dérivées secondes $\partial^2 g/\partial z^2$ (z, altitude) plutôt que sur celle de la pesanteur g elle-même. Les dérivées qu'ils utilisent ne sont en fait que de « pseudo-dérivées ». Le mode de calcul les a dépouillées, avec grand avantage, des énormes influences très locales, d'origine strictement superficielle, qui affecteraient de « véritables » dérivées. On obtient malheureusement ces pseudo-dérivées en partant de valeurs de g, dont la précision est bien inférieure à celle que peuvent atteindre les gravimètres modernes. Encore faut-il ajouter que c'est généralement par interpolation que ces valeurs de g sont relevées sur la carte des anomalies de Bouguer.

Comme l'a proposé L. Cagniard [1], on peut obtenir ces pseudo-dérivées secondes par une technique de mesure très différente de la technique courante. Soient $M_1, M_2, \ldots, M_n$ les n sommets d'un polygone régulier de centre O, inscrit dans un cercle de rayon r. Le sol étant supposé horizontal, la valeur C de la pseudo-dérivée, en O, serait

$$C = \frac{4}{nr^2}[n\,g(O) - g(M_1) - g(M_2) - \ldots - g(M_n)].$$

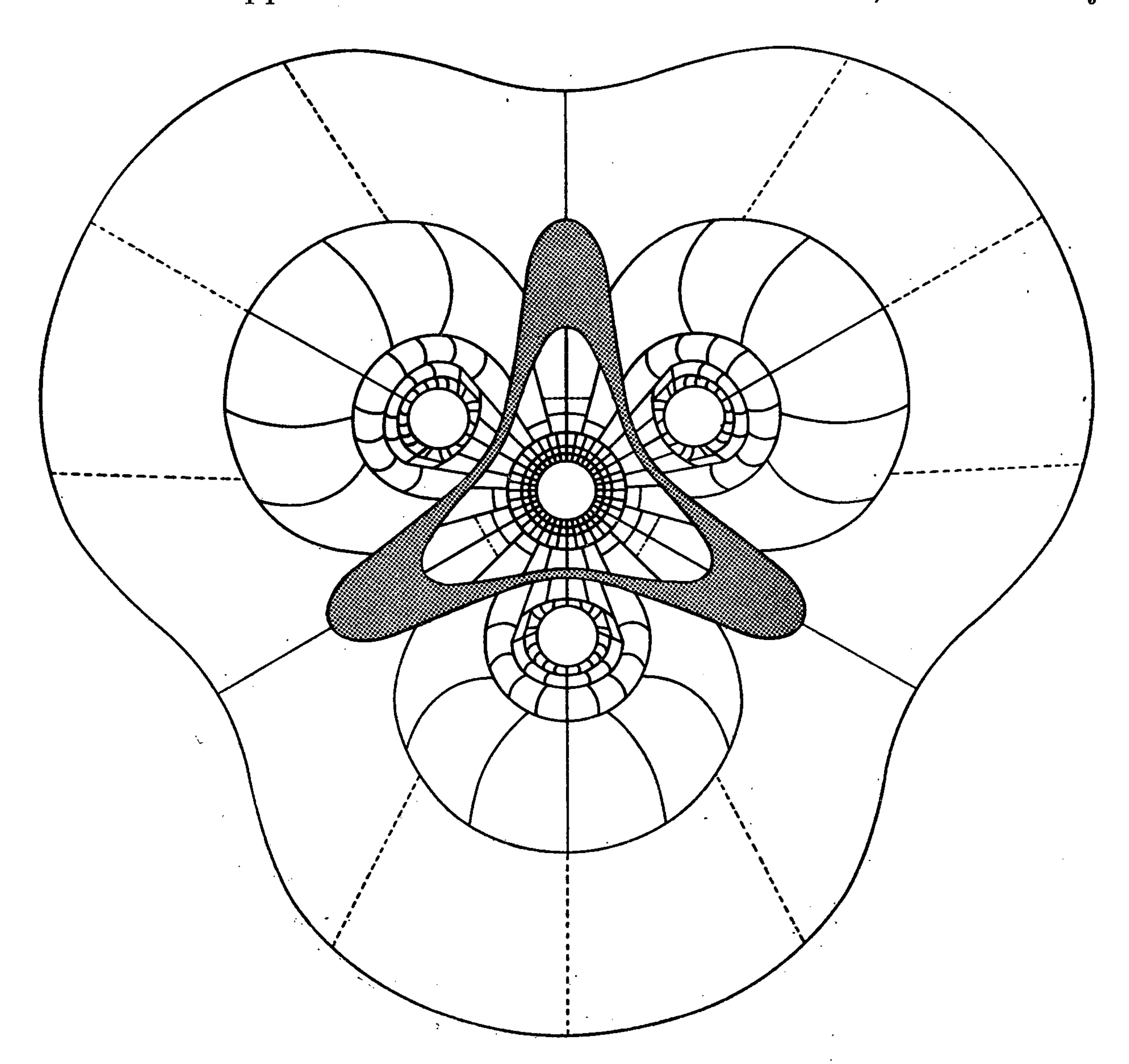
Le choix du type de groupement et la valeur du rayon r à adopter dépendent de la nature du terrain et du problème particulier qui se pose au prospecteur. Dans la pratique, on utilisera par exemple un triangle équilatéral, avec $r = 500$ m ou davantage dans telle ou telle prospection pétrolière, un carré avec $r = 50$ m ou moins encore dans telle ou telle prospection minière. On va donc transporter successivement le gravimètre au centre et aux sommets pour connaître les *différences* brutes de g entre ces $n + 1$ stations de mesure, et l'on évaluera C d'après la formule, quitte à effectuer ensuite la réduction au plan.

Les avantages du procédé sont les suivants :

1° La cote absolue de la station O n'intervient pas. Toute la topographie est *relative* à la station centrale. Les *différences* d'altitude entre les stations du groupement sont facilement connues avec toute la précision voulue.

2° Dans la formule n'interviennent que les différences relatives de g entre les $n + 1$ stations du groupement. Vu la rapidité d'exécution des mesures, les néfastes effets de dérive ne sont plus à craindre et l'on peut utiliser à plein l'extrême précision d'un gravimètre Worden.

3° Une station de dérivée se place où l'on veut, quand on veut et comme on veut. On peut donc se contenter au départ de mesures relativement espacées. Si les résultats obtenus dans une reconnaissance régionale très sommaire font apparaître des anomalies intéressantes, il sera toujours



loisible d'intercaler de nouvelles stations, là seulement où il en faut, et sans exagérer inutilement leur nombre.

4° Du fait que les valeurs de g peuvent être « réduites » au niveau local et n'ont plus besoin de l'être à un niveau régional unique, tel que le niveau de la mer, on voit disparaître du même coup les énormes corrections de plateau et d'air libre, si gravement affectées par les erreurs d'altitude et par les incertitudes sur les densités.

5° Les influences de relief sont très locales, en raison même de ce qu'il s'agit de dérivées. En fait, une masse topographique, éloignée de O d'un petit nombre de fois la longueur r, affecte fortement les valeurs de g en O, en M_1, ..., en M_n, mais les affecte toutes à peu près de la même

quantité. Par le jeu des compensations, la pseudo-dérivée C ne se trouve que très peu modifiée. Ce serait donc très maladroit que d'évaluer les influences de relief, isolément, en chaque station du groupement. C'est pourtant ainsi qu'on opère implicitement quand on cherche à calculer C à partir d'une carte d'anomalies de Bouguer.

Ces considérations conduisent à calculer la correction de relief par une évaluation globale de la perturbation dont chaque masse topographique affecte la valeur de C. L'abaque de correction topographique figuré ci-contre, d'un principe très classique, se rapporte à la disposition en triangle équilatéral centré.

Les corrections sont positives dans la zone centrale, négatives dans la zone extérieure. Dans la zone représentée en grisé, elles sont pratiquement nulles. Pour une cote z donnée, toutes les mailles ont même valeur, proportionnelle à z^2. Dans la dernière couronne de l'abaque, les mailles occupent une étendue énorme, de sorte qu'elles ont été fractionnées en quatre par des lignes pointillées.

Les corrections deviennent assurément plus complexes, plus délicates à mettre en œuvre et moins précises en terrain très accidenté, comme il advient souvent en prospection minière. Néanmoins, pour les raisons qu'on a dit, la nouvelle technique peut encore très souvent réussir là où la gravimétrie classique échoue. Elle garantit, dans tous les cas, une précision très supérieure. Elle peut compléter la gravimétrie classique. Elle peut aussi la remplacer avantageusement.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) En particulier brevet français nº 1.201.433, demandé le 4 septembre 1957, délivré le 15 juillet 1959.

(Centre d'Études géophysiques, Garchy, Station du Nivernais.)

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHÈRE. — *Manomètre thermique utilisable à bord de fusées depuis le sol jusqu'à* 90 km. Note (*) de M. **Guy Israël**, présentée par M. Jean-Jacques Trillat.

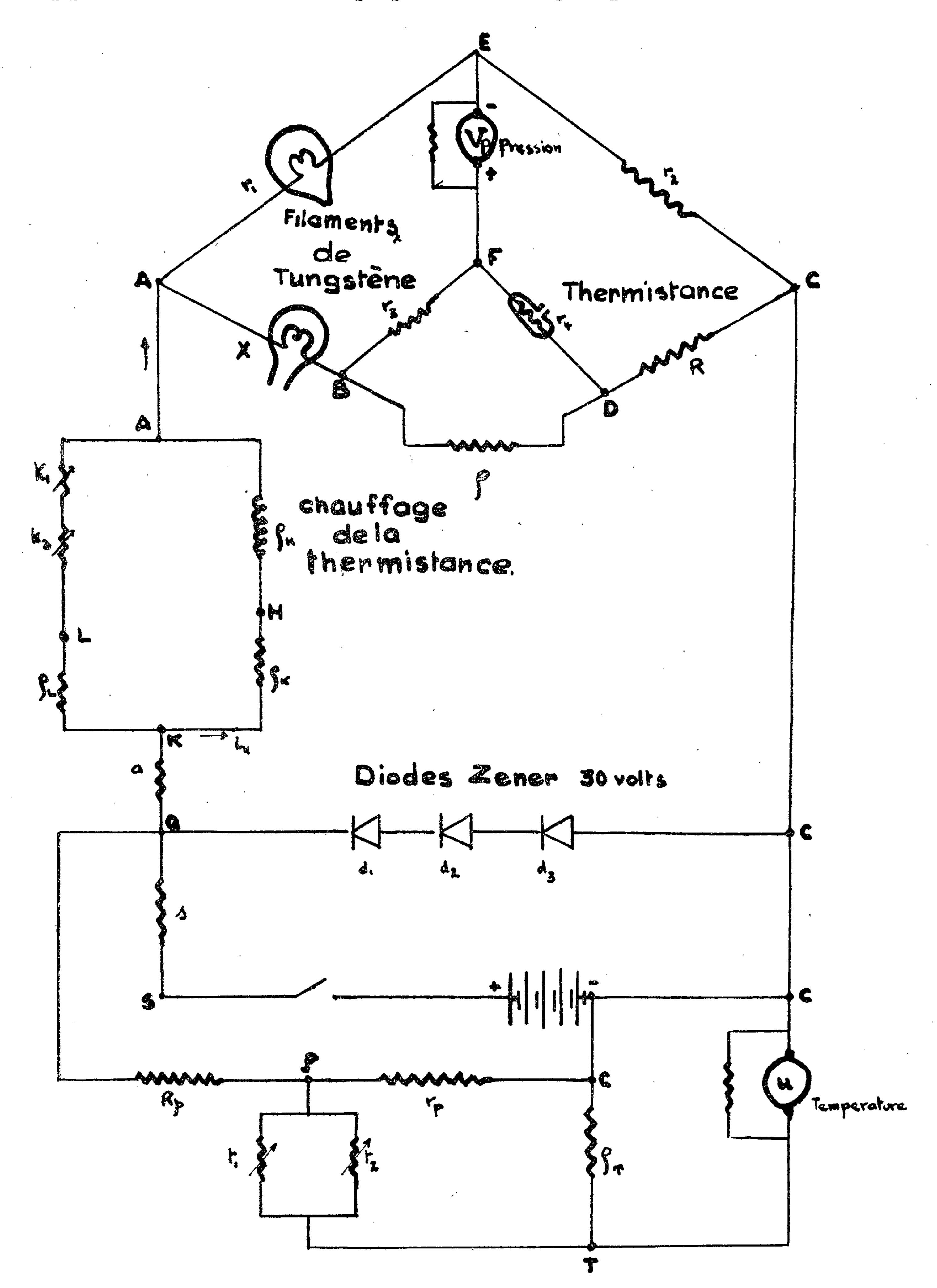
Description d'un appareil permettant d'effectuer à bord de fusées, des mesures de la pression depuis le début de la trajectoire jusqu'à 90 km. Son indication, donnée en tension, est suffisamment élevée pour être transmise au sol par télémesure sans amplification et sous faible impédance. Son temps de réponse est relativement faible, et les effets des variations de température sont compensés automatiquement.

Les premières mesures effectuées à bord d'engins autopropulsés ont montré les difficultés rencontrées dans la détermination de la pression, de la densité et de la température [1], [2]. En particulier, on sait qu'à partir de 90 km, les considérations aérothermodynamiques qui permettent de passer de la pression réelle à la pression mesurée ne sont plus valables dès que le libre parcours moyen devient de l'ordre de grandeur des dimensions des capteurs. D'autres facteurs imposent cette limite qui correspond au passage du régime de glissement au régime transitoire; ce sont l'épaississement de la couche limite, la diminution du nombre de Reynolds et la pression des gaz résiduels qui s'échappent de l'engin. D'autre part, si l'on veut pouvoir mesurer les pressions d'arrêt qui sont en général vingt fois plus élevées que les pressions ambiantes, et obtenir des résultats au moins à partir de 30 km, il faut chercher à étendre le domaine de mesure le plus possible vers les hautes pressions.

C'est pourquoi nous avons réalisé une jauge de pression destinée à être montée à bord d'un engin Véronique et fonctionnant depuis le sol et jusqu'à 90 km. Afin d'obtenir comme indication de pression, une tension de sortie suffisamment élevée, nous avons choisi un manomètre thermique du type Pirani. A. W. Smith [3], ayant montré que le domaine normal de la jauge de Pirani pouvait être étendu jusqu'à la pression atmosphérique, en prenant un deuxième élément sensible, non plus à résistance métallique, mais à thermistance, nous avons monté en opposition dans un pont double de Lord Kelvin, alimenté sous tension constante, les deux éléments manométriques. Le premier élément est sensible aux basses pressions; le deuxième élément, qui est une thermistance miniature à chauffage indirect, est sensible aux fortes pressions. Leurs coefficients de température étant de sens contraire, ils agissent dans le même sens sur la tension de déséquilibre du pont. On observe alors que l'indication en tension V_P de la jauge diminue dès que la pression atmosphérique varie. En adoptant le montage de la figure 1, et en réglant le chauffage de la thermistance, on peut choisir une sensibilité du pont telle que le fonctionnement normal de la jauge ne soit pas modifié aux basses pressions; la résistance de la thermistance devenant négligeable, la symétrie du pont de Wheatstone est respectée.

D'autre part, les éléments sensibles étant de dimensions réduites, le temps de réponse de la jauge est relativement peu élevé (une demi-seconde pour 200 μ de mercure).

Les appareils de mesure équipant un engin pouvant être portés à des



températures atteignant parfois 60 à 70° C, si l'on veut utiliser un manomètre thermique dont la sensibilité même est essentiellement variable avec la température de ses parois, il devient nécessaire d'effectuer un contrôle et même une compensation de la température. Grâce à deux thermistances (k) incorporées dans la paroi du manomètre, le courant

d'alimentation, d'une part, et le courant de chauffage indirect de la thermistance, d'autre part, sont liés aux variations de la température des parois. De la sorte lorsque celle-ci passe de 20 à 70° C, la pente de la courbe d'étalonnage reste sensiblement la même. Ayant relevé la variation de V_{PA} à la pression atmosphérique en fonction de la température des parois, on note qu'au lieu de diminuer brusquement avec la température, V_{PA} garde une valeur comprise entre 4,40 et 5 V. Deux thermistances perles (*t*) également fixées contre les parois du manomètre servent de contrôle de la température de celles-ci.

Mise au point pour effectuer une mesure de la pression statique, la jauge se présente sous la forme d'un boîtier métallique dont la face avant, légèrement courbée, vient se fixer contre la paroi intérieure de l'engin. Deux orifices ménagés dans cette paroi et dans la face avant du boîtier permettent le passage des tubes de prise de pression statique. Le boîtier, contenant les lampes en verre protégées par des lanières de caoutchouc, les thermistances thermométriques et celles de compensation, est entièrement rempli d'araldite F possédant une très forte inertie thermique et dont la température d'inflexion est très élevée.

Nous avons cherché à faire un appareil d'un emploi facile; il était indispensable d'avoir sur la même échelle et avec le même instrument des résultats dès le début de la trajectoire de l'engin et jusqu'à 90 km d'altitude. Nous avons montré que le montage des éléments en pont double de Lord Kelvin était particulièrement approprié à notre utilisation. L'araldite s'est révélée, malgré sa densité élevée (1,45 à 1,55) d'un emploi très commode, assurant à la fois une fixation des éléments qui présente une grande résistance mécanique, ainsi qu'un isolement électrique et thermique efficace. Le procédé de compensation thermique employé a été rendu possible grâce aux récents progrès réalisés sur les résistances à coefficient de température négatif.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) R. JASTROW, Astronautics, *Publication of the American Rocket Society*, juillet 1959.

(2) N. W. SPENCER et R. L. BOGGES, *American Rocket Society Journal*, janvier 1959, p. 68.

(3) A. W. SMITH, *The Review of Scientific Instruments*, 30, n° 6, 1959, p. 485.

(Laboratoire de Physique de l'Atmosphère de la Faculté des Sciences de Paris et Centre d'Études des Projectiles Autopropulsés.)

GRANULOMÉTRIE. — *Quelques observations sur l'utilisation et la valeur des méthodes de tamisage mécanique.* Note (*) de M. **Louis Amoureux**, présentée par M. Louis Fage.

Ayant en vue de procéder à des études granulométriques par tamisage, nous avons cru utile de rechercher les meilleures conditions d'utilisation de ce procédé.

Nous avons employé successivement des échantillons de sables marins intercotidaux, différant entre eux par leur nature et leur masse; nous les avons soumis chacun à trois tamisages de durée de plus en plus élevée : 8,15 et 30 mn, avec un appareil ROTO-LAB, sur une série de tamis AFNOR de mailles comprises entre 1620 et 39 μ, en progression géométrique approximativement. Les résultats extrêmes (tamisages de 8 et 30 mn) sont consignés dans les quatre diagrammes suivants. En ordonnée, le pourcentage des masses recueillies sur chaque tamis; en abscisse, l'échelle logarithmique des mailles.

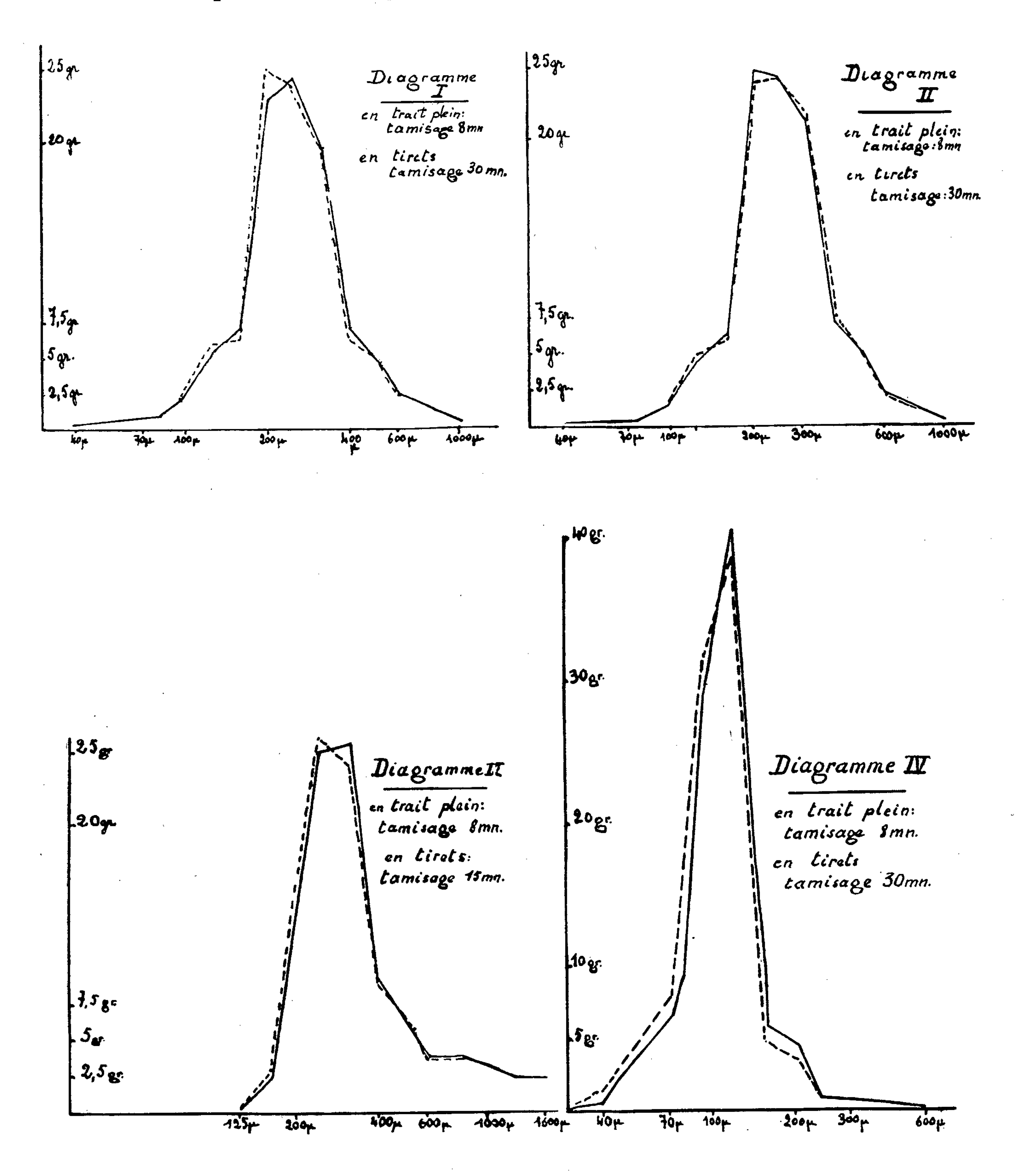
Diagramme I. — Sable prélevé sur une résurgence d'eau douce à Roscoff [1]. Masse : 100 g. Il apparaît immédiatement, pour ces sables très quartzeux, que le résultat ne diffère pratiquement pas si la durée de tamisage est augmentée. Pour de tels échantillons, une durée supérieure à 8-10 mn semble donc bien inutile, si toutefois l'on part d'une masse de 100 g.

Diagramme II. — Sable prélevé au voisinage du précédent, mais la masse tamisée était de 200 g. Les conclusions rejoignent les précédentes. En outre, la superposition à peu près parfaite des courbes de ce diagramme avec celles du précédent — il s'agit de deux échantillons séparés par 2 m à peine — montre qu'il n'y a pas d'intérêt à utiliser des masses plus considérables pour avoir une idée exacte de la granulométrie en de tels cas.

Diagramme III. — Sable de Tisaozon, quartzeux mais avec une proportion non négligeable d'éléments coquilliers, complètement dépourvu de parties inférieures à 100 μ.

La durée prolongée du tamisage aboutit à une courbe granulométrique nettement, quoique faiblement, différente : dans l'ensemble, une translation vers les éléments plus fins. Ceci ne semble pas dû à une insuffisance de durée du premier tamisage, comme on pourrait le penser, mais au morcellement des éléments coquilliers lors de l'opération. Nous avions prélevé quatre fragments sur un tamis après le premier tamisage de 8 mn et nous les avions peints. Au second tamisage, nous avons retrouvé sept fragments peints, sur des tamis plus fins. Ici, encore, il ne semble pas indiqué d'augmenter la durée du tamisage, non plus du reste, que la masse : 100 g pendant 8-10 mn, nous semble le plus convenable en ce cas.

Diagramme IV. — Sables de Saint-Efflam, riches en éléments micacés et coquilliers, beaucoup plus fins et mieux triés que les précédents. 70 % de la masse se concentre sur deux tamis (n°s 21 et 22), 85 % sur quatre. Nous avons opéré sur 65 g seulement. A l'augmentation de durée du



tamisage correspond une légère translation de la courbe vers les éléments plus fins explicable, pensons-nous, par le bris des éléments friables comme nous l'avions mis en évidence pour l'exemplaire précédent. Pour de tels sables, il apparaît contre-indiqué d'utiliser des masses trop importantes : la concentration extrême sur quelques tamis obligerait à une durée plus longue de tamisage avec risques multipliés de morcellement.

En conclusion : les méthodes de tamisage mécanique nous donnent une représentation exacte de la répartition granulométrique des sédiments que nous avons étudiés.

Contrairement à G. Boillot (2) qui préconise une durée de tamisage de 25 à 30 mn, nous pensons qu'en général une durée de 8 à 10 mn avec une masse de 100 g donnera généralement une représentation plus exacte, ceci en accord avec L. Berthois (3). Et même, dans le cas de sables riches en éléments organogènes calcaires très friables, on aura intérêt — surtout si le sable est bien trié — à partir d'une masse encore plus faible, pour ne pas dépasser les 10 mn et réduire ainsi à l'extrême les risques de morcellement.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) L. Amoureux, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1406.
(2) *Travaux pratiques de Pétrographie sédimentaire*, C. D. U., Paris, p. 8.
(3) *Ann. Soc. géol. Nord*, 71, p. 172-185.

(*Station Biologique, Roscoff et Faculté Libre des Sciences, Angers.*)

ALGOLOGIE. — *Quelques observations sur un* Mallomonopsis (*Chrysophycées*) *de Côte-d'Ivoire*. Note (*) de M. **Pierre Bourrelly**, présentée par M. Roger Heim.

Nous signalons la présence en Côte-d'Ivoire de *Mallomonopsis elliptica* Matv., espèce de Chrysophycée connue d'une seule station russe. L'examen, sur le vivant, montre la présence d'un granule photocepteur et d'un corps parabasal comme dans le genre *Synura*. Les *Mallomonopsis* sont donc des formes intermédiaires entre les *Synura* et les *Mallomonas*.

Le genre *Mallomonopsis* a été décrit, avec deux espèces, sur du matériel des environs de Charkow par A. M. Matvienko en 1941 ([1]). L'année suivante, J. W. G. Lund ([2]) découvrait une troisième espèce en Grande-Bretagne, mais n'ayant pas eu connaissance du travail de Matvienko il en faisait le type d'un genre nouveau *Ochromallomonas*. Depuis lors trois autres espèces ont été signalées en Tchécoslovaquie et en Russie.

Le genre *Mallomonopsis* groupe des Chrysophycées unicellulaires, solitaires, librement nageantes, à deux flagelles inégaux, à cellules présentant un revêtement de fines écailles siliceuses portant souvent de minces soies. On y observe de plus, deux plastes pariétaux jaune-brun, un noyau et un système de vacuoles contractiles.

Après avoir cherché vainement un représentant de ce genre dans les eaux douces de France, nous avons eu la bonne fortune de trouver le *Mallomonopsis elliptica* Matvienko dans une pêche planctonique effectuée en septembre 1959 dans l'étang de la réserve forestière du Banco, en Côte-d'Ivoire. Ce plancton était surtout constitué par une Cyanophycée : *Eucapsis alpina* et une Chrysophycée : *Dinobryon sertularia* var. *protuberans*.

Le *Mallomonopsis elliptica* a des cellules ellipsoïdales de 26-30 μ de longueur pour 15-20 μ de largeur, recouvertes d'écailles siliceuses elliptiques de 7 × 4 μ, à marge épaissie et à soie lisse, recourbée de 13 μ de longueur. Nous avons pu, par examen sur le matériel vivant, observer quelques détails cytologiques encore non signalés chez les *Mallomonopsis*. La cellule présente deux plastes jaunes, pariétaux; les réserves sont constituées par des gouttelettes grasses et par un gros globule basal de chrysose (ou leucosine). Le noyau est situé à l'avant de la cellule, placé entre les extrémités des plastes; il est pyriforme et de son sommet conique naît un flagelle épais mesurant 1 fois et demie à 2 fois la longueur du corps cellulaire. Ce flagelle, à l'arrêt, décrit une courbe sinueuse, mais pendant la nage il est dirigé vers l'avant et agité de vifs mouvements hélicoïdaux. Le second flagelle, plus mince et beaucoup plus court que le premier (les 2/3 seulement de la longueur de la cellule), porte très près de sa base un granule réfringent rappelant le photocepteur des Euglènes. Ce fouet, au repos, reste assez raide et oscille

sans onduler. Pendant la nage il est presque inactif, placé le long du corps et dirigé vers l'arrière.

Du même côté que le fouet court, on observe facilement un corps parabasal, en larme allongée, collé contre le noyau.

Les vésicules contractiles sont dispersées dans le cytoplasme, à la base de la cellule et au nombre de 3 ou 4; elles se déversent les unes dans les autres, mais sans qu'on puisse distinguer un appareil pusulaire comparable à celui que nous avions signalé avec M. Chadefaud ([3]) chez le *Mallomonas insignis*.

Nous voyons donc qu'appareil cinétique, parabasal, photocepteur ainsi

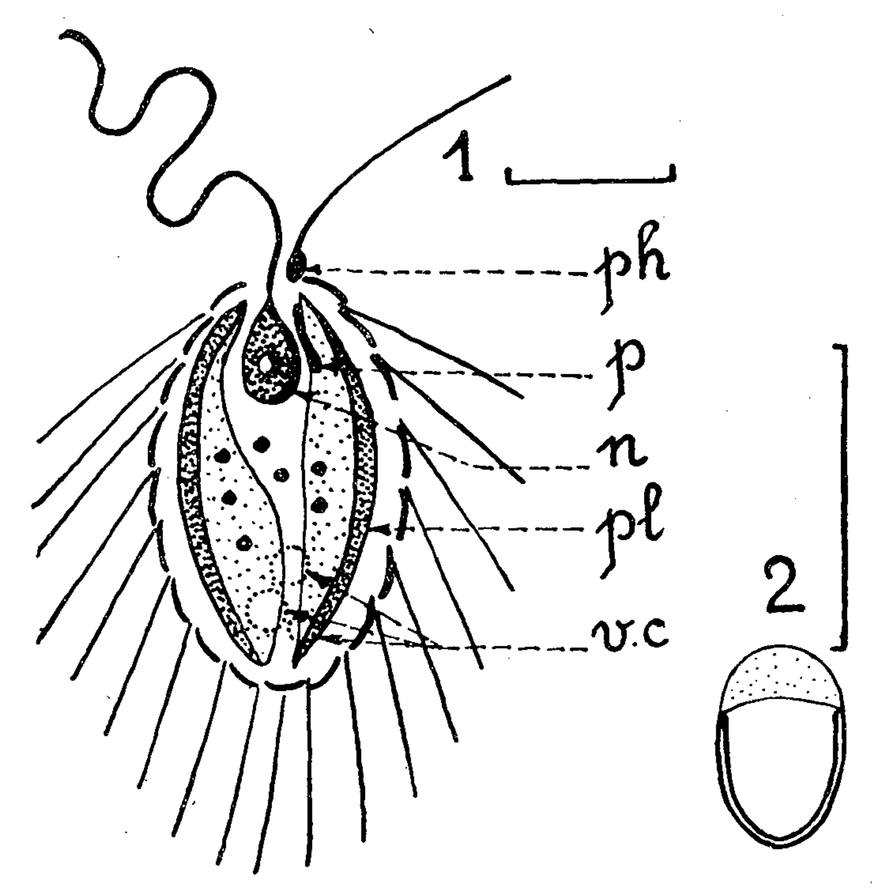


Fig. 1. — Cellule de *Mallomonopsis elliptica* Matv. :
n, noyau; *p*, parabasal; *ph*, grain photocepteur; *pl*, plaste; *v. c.*, vésicules contractiles.
Fig. 2. — Détail d'une écaille siliceuse.
(Les traits placés à côté des numéros des figures représentent 10 μ.)

que les vésicules contractiles, ont une organisation très proche de celle décrite par R. Hovasse ([4]) chez le *Synura uvella*. Par contre, la structure des écailles, la vie solitaire, sont des caractères communs avec les *Mallomonas*. Remarquons d'ailleurs que le *Mallomonopsis deltoidea* Morvan ([5]), par ses écailles sans soie, ses flagelles subégaux et ses colonies occasionnelles, fait transition entre les genres *Synura* et *Mallomonopsis*.

La présence d'un parabasal et d'un photocepteur permet de préciser la position phylogénétique du *Mallomonopsis*. On peut reconnaître facilement une ligne phylétique partant des *Synura* coloniaux à deux fouets subégaux à parabasal bien visible et à vésicules contractiles simples, passant par les *Mallomonopsis* à flagelles inégaux et aboutissant aux *Mallomonas* à parabasal non visible, à flagelle court réduit au pédoncule du photocepteur [Bourrelly ([6])] et appareil pusulaire complexe. Nous retrouvons là une série

complète qui donne un bon exemple de passage des Ochromonadales à deux flagelles hétérodynames aux Chromulinales à fouet unique.

É. Fauré-Frémiet et Ch. Rouiller (7), (8) ont exposé un cas analogue avec le *Chromulina psammobia*, espèce marine où le microscope électronique permet de déceler, à côté du flagelle fonctionnel, un cryptoflagelle très réduit, organite résiduel qui indique bien les relations phylogénétiques étroites reliant Chromulinales et Ochromonadales.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) A. M. Matvienko, *Trudi Inst. Bot. Charkow*, 4, 1941, p. 47.
(2) J. W. G. Lund, *New Phytol.*, 41, nº 4, 1942, p. 286-287.
(3) P. Bourrelly et M. Chadefaud, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 434.
(4) R. Hovasse, *Le Botaniste*, 34, 1949, p. 263-268.
(5) P. Marvan, *Publ. Fac. Sc. Univ. Masaryk, Brno*, 385, 1957, p. 294-295.
(6) P. Bourrelly, *Rev. Algol.*, Mém. hors série, 1, 1957.
(7) É. Fauré-Frémiet et Ch. Rouiller, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2655.
(8) Ch. Rouiller et É. Fauré-Frémiet, *Exper. Cell. Res.*, 14, 1958, p. 47-67.

MYCOLOGIE. — *Sporogenèse et mutations chez* le Gliocladium nigrum *F. Moreau*. Note (*) de MM. **René Morquer** et **Guy Viala**, présentée par M. Lucien Plantefol.

La sporogenèse du *Gliocladium nigrum*, active sur l'amidon et l'acide aspartique dans le rapport C/N = 63 à 24°, est encore stimulée par le glucose et la terre humeuse. L'action toxique des antibiotiques détermine une lipophanérose qui déprime la conidiogenèse sans l'annihiler. Une mutation sectorielle spontanée provoque la perte irréversible de la faculté de sporuler. Les radiations ultraviolettes déterminent la raréfaction de la conidiogenèse chez les hyphes blanches et l'apparition d'une mutation asporogène s'opposant aux modifications passagères causées par les antibiotiques.

La sporogenèse chez les Champignons dépend à la fois des facteurs externes et internes. La température, la teneur en eau, en oxygène et en gaz carbonique, la concentration en ions H du substratum jouent un rôle prépondérant dans la multiplication asexuelle. La conidiogenèse est comprise entre des limites extrêmes, souvent plus rapprochées que celles de la croissance mycélienne.

Toutefois, au sein d'une même espèce, on observe parfois des différences dans l'action des facteurs externes sur diverses catégories de spores, suivant les fonctions qu'elles assurent : multiplication végétative, reproduction sexuelle, conservation.

La constitution chimique du milieu nutritif exerce aussi une action capitale sur la sporogenèse : Klebs a reconnu l'influence de la concentration de l'aliment ([1]), Leonian, celle de la dilution du milieu ([2]). Hawker a précisé l'influence de faibles proportions de glucose sur l'apparition des périthèces fertiles de *Melanospora destruens* ([3]). D'autres physiologistes ont montré l'importance du rapport entre la source de carbone et celle de l'azote sur la conidiogenèse et sur la morphogénie de spores de divers types : W. Brown ([4]), à propos des *Fusarium*; R. Morquer, au sujet du déterminisme de la sporogenèse chez *Dactylium macrosporum* ([5]); Mix, en ce qui concerne la formation des pycnides et des spores de *Phyllosticta solitaria* ([6]), sans que les travaux de ces chercheurs aient retenu suffisamment l'attention des mycologues.

La phosphorylation, l'incorporation du soufre dans les protéines, l'absorption nécessaire du potassium, du magnésium, l'intervention des oligodynamiques : fer ([7]), manganèse ([8]), zinc ([9]) au cours de la vie de la plante, expliquent l'importance de ces éléments au cours de la sporulation.

L'effet des différents facteurs varie tellement d'une espèce de Champignon à l'autre, qu'il était intéressant de rechercher leur influence sur la conidiogenèse d'un Champignon peu connu, *Gliocladium nigrum* F. Moreau. Il offre un contraste frappant entre ses conidies fortement pigmentées et

son mycélium blanc. Il sporule activement sur un milieu contenant de l'amidon et de l'acide aspartique et se montre très sensible à l'action du glucose, de l'azote minéral et organique, de la terre humeuse, qui stimulent la conidiogenèse [10]. Enfin cette Mucédinée produit aisément un mycélium stérile sous des influences diverses (addition d'antibiotiques, radiations), ce qui nous conduit à poser la question des actions toxiques réversibles ou des mutations possibles.

Action des antibiotiques. — La pénicilline, l'érythromycine (à dose de 0,1 à 0,75 μg/ml) ont déterminé la formation d'inclusions lipidiques dans le mycélium et la cessation de la conidiogenèse pendant 11 mois. Mais au bout de 15 mois, cet organisme a récupéré la faculté de sporuler sans coalescence entre les capitules et seulement à la périphérie des cultures. L'action toxique des antibiotiques a donc déterminé une dépression de la conidiogenèse sans l'annihiler. Il n'existe donc pas de mutation dans ce cas.

Formation de mutants spontanés. — Sur un milieu de base organominéral contenant de l'amidon et de l'acide aspartique dans un rapport C/N = 63 à 24° (optimal), la végétation se montrait exubérante, les conidiophores nombreux. Un faible nombre de cultures a présenté la formation, en deux secteurs, d'un mycélium ras, jaunâtre et asporogène.

Aucune addition de glucose, de terre humeuse, n'a pu restituer à cette souche stérile la fertilité initiale. Il s'agit donc d'un processus *irréversible*, sans rapport avec le « pléomorphisme » observé par Sabouraud, Langeron, et dont Vanbreuseghem [11] a pu observer la régression chez les Dermatophytes. D'ailleurs, l'allure de la croissance et la densité de la croissance mycélienne du *Gliocladium nigrum* s'opposent à la prolifération désordonnée des souches pléomorphiques. Nous reconnaissons donc ici une *mutation*.

Action des radiations ultraviolettes. — La source utilisée était une lampe à vapeur de mercure en quartz, sur le courant alternatif de 110 V, située à 35 cm de la culture en voie de croissance.

Nous exposions les cultures : *a.* soit *directement*; *b.* soit à travers le verre « pyrex » qui absorbe 1/10e à 2/10e des radiations comprises entre 2 800 et 3 000 Å et 3/10e à 8/10e entre 3 000 et 3 200 Å, enfin 9/10e entre 3 250 et 4 000 Å; *c.* soit enfin à travers le quartz qui laisse passer l'ultraviolet jusqu'à 1 850 Å.

Nous comparions la sporogenèse de ces cultures irradiées avec celles d'un témoin non irradié sporulant au bout de 17 jours sur le milieu de base. Les durées d'irradiation variaient au cours des premières séries d'expériences entre 15 et 30 mn. Les capitules conidiens exposés pendant 20 mn étaient affectés d'une diminution du 1/4 des conidies et d'un groupement des capitules en plages discontinues.

Après 30 mn, ils étaient localisés plus étroitement encore. La conidiogenèse décroît moins rapidement quand les radiations sont absorbées partiellement par le « pyrex »; le déclin de la sporogenèse ne s'observe

qu'après une exposition de 30 mn. Il est mieux marqué après 1 h 12 mn d'irradiation au 6e jour. Enfin deux séances de 60 mn au même stade et de 50 mn au 10e jour provoquent une pigmentation orangée du mycélium, puis l'inhibition de la conidiogenèse ainsi que le nanisme des capitules. L'exposition à travers le quartz produisait des effets biologiques intermédiaires entre les précédents. Deux séances successives de 30 mn aux 5e et 8e jours stérilisaient les cultures initiales.

Cette stérilité se maintenait-elle au cours des repiquages successifs ? Au cours des ensemencements et de nombreux repiquages, une diminution considérable de la sporogenèse se manifestait encore à partir du mycélium et des spores irradiées primitivement pendant 1 h 30 mn à 4 h 30 mn à travers le quartz. Les capitules raréfiés étaient strictement localisés au centre de la colonie.

En résumé, l'irradiation directe du mycélium de *G. nigrum* provoque deux phénomènes :

1° la raréfaction de la conidiogenèse chez les hyphes blanches aériennes;

2° la production d'un mycélium gluant dont la dégénérescence lipidique est concomittante d'une stérilisation complète de l'appareil conidien. Ce processus se montrant irréversible, nous admettrons que l'irradiation a bien déterminé l'apparition d'une mutation asporogène qui s'oppose aux modifications passagères provoquées par les antibiotiques.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) G. KLEBS, *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 35, n° 1, 1900.
(2) L. H. LEONIAN, *Amer. J. Bot.*, 11, 1924, p. 19-50.
(3) L. E. HAWKER, *Ann. Bot. Lond.*, N. S., 3, 1939, p. 455-468.
(4) W. BROWN et A. S. HORNE, *Ann. Bot.*, 40, 1926, p. 203-221.
(5) R. MORQUER, *Thèse Sc. Nat.*, Paris, 1931, 391 pages.
(6) A. J. MIX, *Phytopath.*, 23, 1933, p. 503-524.
(7) G. J. RAULIN, *Études chimiques sur la végétation* (*Thèse Sc. Phys.*, Paris, 1870, 203 pages).
(8) G. BERTRAND et M. JAVILLIER, *Ann. Inst. Past.*, 26, 1912, p. 241 et 515.
(9) M. JAVILLIER, *Comptes rendus*, 155, 1912, p. 190.
(10) G. VIALA, *Dipl. Ét. Sup.*, Toulouse, 1959.
(11) R. VANBREUSEGHEM et M. VAN BRUSSEL, *Ann. Soc. Belg. Med. Trop.*, 32, 1952, p. 79-84.

(*Laboratoire de Cryptogamie, Faculté des Sciences, Toulouse.*)

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Variations de la répartition des ribonucléoprotéines dans les apex d'un Blé d'hiver* (Triticum vulgare *Vill.*) *semé, soit au printemps, soit en automne.* Note (*) de Mlle **Nicole Poux**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Après une phase où la répartition des ribonucléoprotéines est caractéristique de l'état végétatif, et bien qu'ils puissent continuer à produire des feuilles, les apex d'une variété d'hiver de *Triticum vulgare*, montrent un enrichissement progressif des cellules apicales en ribonucléoprotéines en rapport avec une évolution vers l'état reproducteur.

Les variétés de Blé d'hiver soumises au froid hivernal épient après avoir formé un nombre de feuilles beaucoup moins élevé que lorsqu'elles sont semées au printemps. Comme nos prédécesseurs, nous avons obtenu 12 feuilles pour les semis d'automne (mi-novembre) et une vingtaine pour les semis de printemps (mi-avril).

Au moins jusqu'à l'initiation de la 7e feuille, la répartition des ribonucléoprotéines (RNP) dans l'apex est identique à celle observée sur une variété de printemps [1], quelle que soit la date du semis : l'apex en forme de dôme court (*fig.* 1) présente un anneau initial (*AI*) riche en RNP, particulièrement dans l'initium foliaire en formation (*if* 6), contrastant avec une zone apicale restreinte à quelques cellules (*MA*) mais nette, relativement pauvre en RNP.

Chez les Blés d'hiver semés au printemps, alors que l'apex subit une série de modifications de forme et de mode de fonctionnement [2], la zonation des apex végétatifs tend à s'effacer par enrichissement des cellules apicales en RNP. Après l'apparition des 12e et 13e initiums foliaires (*fig.* 2), l'assise tunicale présente généralement une colorabilité à peu près uniforme au sommet de l'apex. Puis, tandis que l'apex s'allonge en produisant

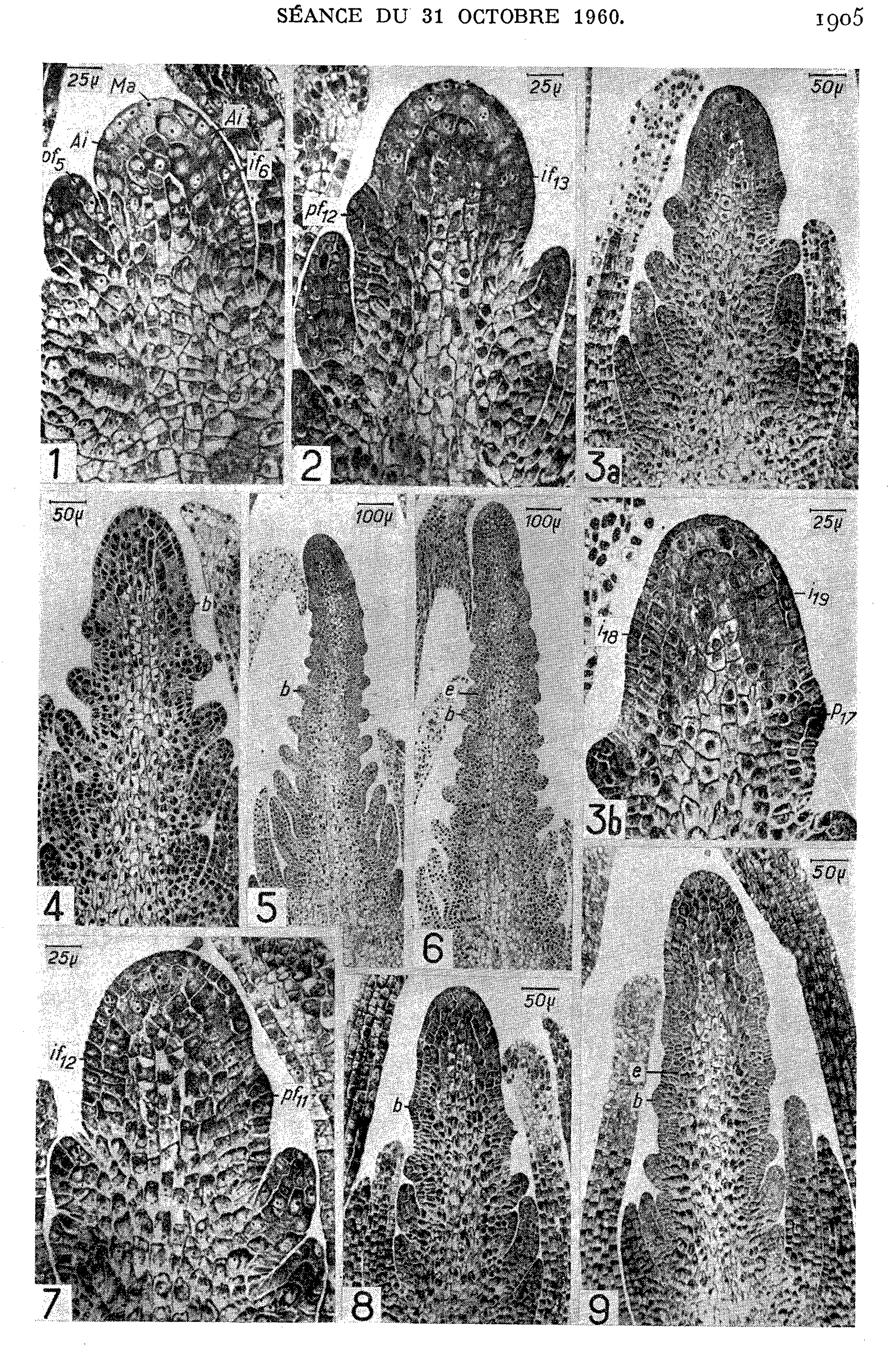
LÉGENDES DES FIGURES.

Matériel : Blé Vilmorin 27. Tests de Brachet.

AI, zone de restauration de l'anneau initial; *MA*, zone apicale ou méristème d'attente; *pf* 5, primordium de la 5e feuille; *if* 6, initium de la 6e feuille; *pf* 11, primordium de la 11e feuille; *if* 12, initium de la 12e feuille; *pf* 12, primordium de la 12e feuille; *if* 13, initium de la 13e feuille; *p* 17, primordium de la 17e feuille; *i* 18, 18e initium foliaire; *i* 19, 19e initium foliaire; *b*, bractée abortive; *e*, épillet.

Fig. 1 à 6. — Semis de printemps. Fig. 1, stade végétatif typique. Fig. 2, 3 *a* et 3 *b*, stades intermédiaires : formation des dernières feuilles sur un apex à tendance inflorescentielle. Fig. 3 *b*, détail de la figure 3 *a*. Fig. 4 et 5, stades intermédiaires : initiation des premières bractées abortives sur des apex ayant respectivement produit environ 24 et 36 initiums de type foliaire ou bractéal. Fig. 6, stade inflorescentiel typique : développement des épillets proprement dits à l'aisselle des bractées.

Fig. 7 à 9. — Semis d'automne. Fig. 7, stade intermédiaire : initiation de la dernière feuille (*if* 12) sur un apex qui n'est plus tout à fait végétatif. Fig. 8, stade intermédiaire : initiation des premières bractées abortives sur un apex ayant produit 19 initiums de type foliaire ou bractéal. Fig. 9, stade inflorescentiel typique : début du développement des initiums d'épillets.


25μ
Ma
Ai
Ai
pf5
if6
1
25μ
if13
pf12
2
50μ
3a
50μ
b
4
100μ
b
5
100μ
e
b
6
25μ
i19
i18
P17
3b
50μ
e
b
9
25μ
if12
pf11
7
50μ
b
8

rapidement de nouveaux initiums foliaires (*fig.* 3 *a*), les grandes cellules subapicales conservent une colorabilité assez faible par rapport aux cellules de la *tunica* et du massif sous-jacent (*fig.* 3 *b*). De plus, à ce stade (*fig.* 3 *b*), la pauvreté en RNP des cellules situées immédiatement au-dessus du dernier initium (*i* 18), contrastant avec une teneur plus élevée dans les cellules apicales de la *tunica*, suggère que la restauration de l'apex ne se fait plus à l'aisselle de l'initium, mais à partir des cellules apicales; de même, sur le flanc opposé, quelques cellules pauvres en RNP séparent le dernier primordium (*p* 17) du lieu où va apparaître le prochain initium (*i* 19) marqué par un enrichissement local en RNP très accusé. Ce fait, déjà visible au stade de la figure 2, ne se trouve pas dans l'apex végétatif (*fig.* 1) : les cellules situées à l'aisselle du dernier primordium (*pf* 5) et au-dessus du dernier initium (*if* 6) ont un cytoplasme encore très coloré, et l'intensité de la coloration dans la *tunica* décroît toujours de la base vers le sommet du dôme apical. Lorsque l'apex a produit une vingtaine d'initiums de feuilles (début juin), le taux général de RNP subit une baisse passagère (*fig.* 4), tandis que l'initiation foliaire se poursuit un certain temps sans changement, donnant naissance aux bractées abortives qui axilleront les premiers épillets (*fig.* 4 et 5, *b*). Lorsque ceux-ci commencent à se développer (fin juillet) (*fig.* 6, *e*), l'extrémité de l'apex est le lieu de teneur maximal en RNP.

Bien que produisant un nombre moindre de feuilles, les semis d'automne présentent assez longtemps une évolution apicale analogue; l'intensité de la coloration tunicale s'uniformise lorsqu'apparaît l'initium de la dernière feuille (*fig.* 7, *if* 12). Bien que les cellules subapicales restent un certain temps plus pâles, l'extrémité de l'apex continue à s'enrichir en RNP, tandis que l'apex s'allonge en initiant les premières bractées abortives des épillets (*fig.* 8). Lorsque ces derniers commencent à se développer (fin avril), les RNP sont nettement plus abondantes au sommet de l'apex (*fig.* 9).

Chez les Blés d'hiver, après un stade végétatif typique, et bien que l'apex puisse continuer quelque temps à produire des feuilles, la répartition des RNP se modifie en même temps que la forme (allongée comme celle de l'apex reproducteur) et le fonctionnement (régénération axillaire remplacée par une régénération apicale). Les « feuilles » transitoires sont donc engendrées de même manière que les bractées qui naîtront plus tard en liaison avec les épillets.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) N. Poux, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 585.
(2) N. Poux, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2522.

(*Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.*)

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Embryogénie des Mélastomacées. Développement de l'embryon chez le* Bertolonia maculata *DC.* Note (*) de M. **Pierre Crété**, présentée par M. René Souèges.

Le *Bertolonia maculata* DC., comme les *Oxyspora*, les *Calvoa*, les *Sonerila*, les *Leandra* et les *Clidemia*, genres à graines droites, entre dans la famille embryogénique du *Myosurus*. Un intérêt tout particulier s'attacherait à la forme droite ou courbe de la graine dans la sous-famille des Mélastomatoïdées.

Les Mélastomatoïdées sont l'une des trois sous-familles que F. Krasser [1] définit chez les Mélastomatacées, appelées plus exactement Mélastomacées. Elles se répartissent en tribus dont certaines se caractérisent par des graines droites, d'autres par des graines courbes ou spirales. Chez les *Monochætum* [2], les *Osbeckia* [3] et les *Melastoma* [4], qui ont des graines courbes, le suspenseur est formé rapidement d'un assez grand nombre de cellules, volumineuses, disposées en file, et, peut-être, dans ce cas, les formes embryonnaires se rattachent-elles à la seconde période de la classification embryogénique [5]. Chez les *Leandra* [3], les *Sonerila* et les *Oxyspora* [6], les *Clidemia* et les *Calvoa* [7] où les graines sont droites, le suspenseur demeure court, et est habituellement massif. C'est à la première période de la classification que se rattachent toutes les formes embryonnaires étudiées jusqu'ici. Nous avons pu nous procurer des échantillons d'une espèce, le *Bertolonia maculata* DC. qui appartient à une tribu à graines droites, celle des Berloloniées, dont aucun représentant n'avait été encore examiné.

Chez le *Bertolonia maculata*, les formes embryonnaires se rattachent à l'archétype du *Myosurus minimus* [9]. Les tétrades sont de la catégorie A_2 (*fig.* 2 et 3). Au stade des quadrants, qui sont disposés sur un même plan horizontal, la cellule intermédiaire, *m*, est cloisonnée obliquement, la cellule inférieure, *ci*, divisée transversalement (*fig.* 4 et 7) ou obliquement (*fig.* 5, 6 et 8). Alors que des proembryons octocellulaires normaux peuvent correspondre aux quadrants (*fig.* 7), nous n'avons pas observé de formes hexadécacellulaires vraies. La figure 11, où aux octants superposés deux à deux correspondent huit blastomères provenant de *cb*, l'étage *m*, n'est pas encore quadricellulaire, tandis que cinq éléments sont déjà présents en *ci*. Les divisions, au niveau des octants, sont très régulières. Elles assurent, tout d'abord l'identification du dermatogène (*fig.* 11 et 13), puis des cloisons verticales isolent très rapidement, dans la partie hypocotylée, les premiers éléments du périblème et du plérome (*fig.* 14 et 15). Ces cellules se divisent toutes transversalement, puis leurs cellules-filles longitudinalement (*fig.* 16 à 19).

Quand, dans l'étage *m*, se trouvent groupés quatre éléments, l'un d'eux, grâce à la position oblique de la première paroi et de l'une des suivantes, se situe à la base de la partie hypocotylée : c'est la cellule mère des initiales de l'écorce au sommet radiculaire (*fig.* 5 à 14), elle se divise rapidement en deux éléments superposés. L'un de ces éléments se place dans le prolongement de la région interne et l'autre dans le prolongement de la région externe du périblème (*fig.* 16). En définitive, l'embryon possède deux étages superposés d'initiales (*fig.* 20). Les autres cellules de *m* contribuent à la formation de la coiffe dans sa portion centrale. Le suspenseur, court et massif, provient des divisions de la cellule *ci*.

Ainsi se trouve confirmée l'homogénéité du développement de l'embryon chez les Mélastomatoïdées à graines droites. Les différences entre genres sont surtout marquées par des variations dans la rapidité et le mode d'identification des initiales de l'écorce au sommet radiculaire. Si l'idée que nous pouvons nous faire aujourd'hui de l'embryogénie de la sous-famille est confirmée par les recherches ultérieures, il apparaîtra que les systématiciens n'ont pas accordé jusqu'ici un intérêt suffisamment grand à la forme des graines ou des embryons dans certaines familles. En effet, on retrouve, chez les Solanacées, des différences remarquables dans l'embryogénie des espèces, selon que leurs embryons sont courbes ou droits. Les embryons des espèces à graines curvembryées présentent

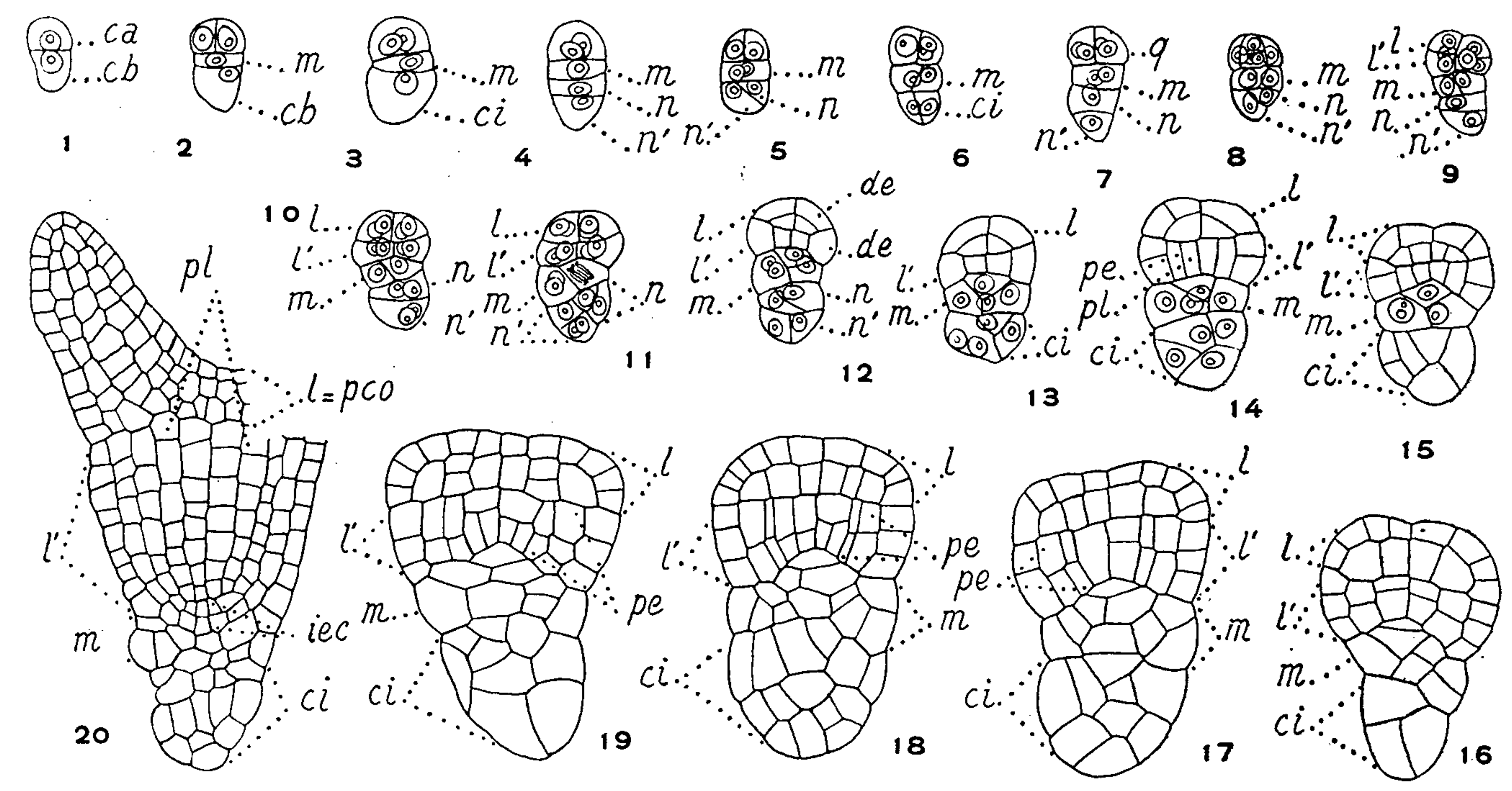


Fig. 1 à 20. — *Bertolonia maculata* DC. — Les principaux stades du développement de l'embryon. *ca* et *cb*, cellules, apicale et basale, du proembryon bicellulaire; *m* et *ci*, cellules-filles de *cb*; *q*, quadrants; *l*, octants supérieurs ou partie cotylée *s. lato*, *pco*; *l'*, octants inférieurs ou partie hypocotylée; *n* et *n'*, cellules-filles de *ci*; *de*, dermatogène; *pe*, périblème; *pl*, plérome; *iec*, initiales de l'écorce ou sommet radiculaire (G $\times$ 330; 250 pour 20).

souvent des formes irrégulières et peuvent être très filamenteux. Dans les tribus à graines rectembryées, les embryons présentent, au contraire, un développement régulier avec formes proembryonnaires courtes.

A propos du *Bertolonia maculata*, il est intéressant de revenir sur la valeur d'un type embryonomique qui a été particulièrement proposé par D. A. Johansen [8] pour une Mélastomacée, le *Sonerila Wallichii*; l'espèce est caractérisée par la formation, à partir de *ci*, d'un étage de huit cellules, situées sur un même plan et que séparent des parois verticales. L'étude du *Bertolonia* montre que la première cloison en *ci* peut être très faiblement oblique et, en 13, trois cellules sur quatre sont encore, dans cet étage, situées sur un plan horizontal. Dans la même espèce, *ci* peut prendre,

par contre, dès le début, une paroi horizontale. Il est peu souhaitable de distinguer des types embryonomiques en les basant sur des caractères fluctuants se rapportant surtout à des éléments qui n'interviennent en rien dans l'édification des parties fondamentales de l'embryon.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) *in* ENGLER et PRANTL, *Die natürlichen Pflanzenfamilien*, Leipzig, 3, n° 7, 1898, p. 130.

(2) A. ZIEGLER, *Bot. Archiv.*, 9, 1925, p. 398.

(3) K. SUBRAMANYAM, *J. ind. Bot. Soc.*, 21, 1942, p. 69.

(4) K. SUBRAMANYAM, *J. ind. Bot. Soc.*, 27, 1948, p. 11.

(5) R. SOUÈGES et P. CRÉTÉ, *Année biologique*, 28, 1952, p. 9.

(6) K. SUBRAMANYAM, *Proc. ind. Acad. Sc.*, 19 B, 1944, p. 115.

(7) K. SUBRAMANYAM, *Phytomorphology*, 1, 1951, p. 205.

(8) P. CRÉTÉ, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 374 et 250, 1960, p. 3710.

(9) R. SOUÈGES, *Embryogénie et Classification. Essai d'un système embryogénique.* Partie spéciale : *Première période du système*, Hermann, Paris, 1948.

(10) *Plant Embryology*, Waltham, Mass., U. S. A., 1950.

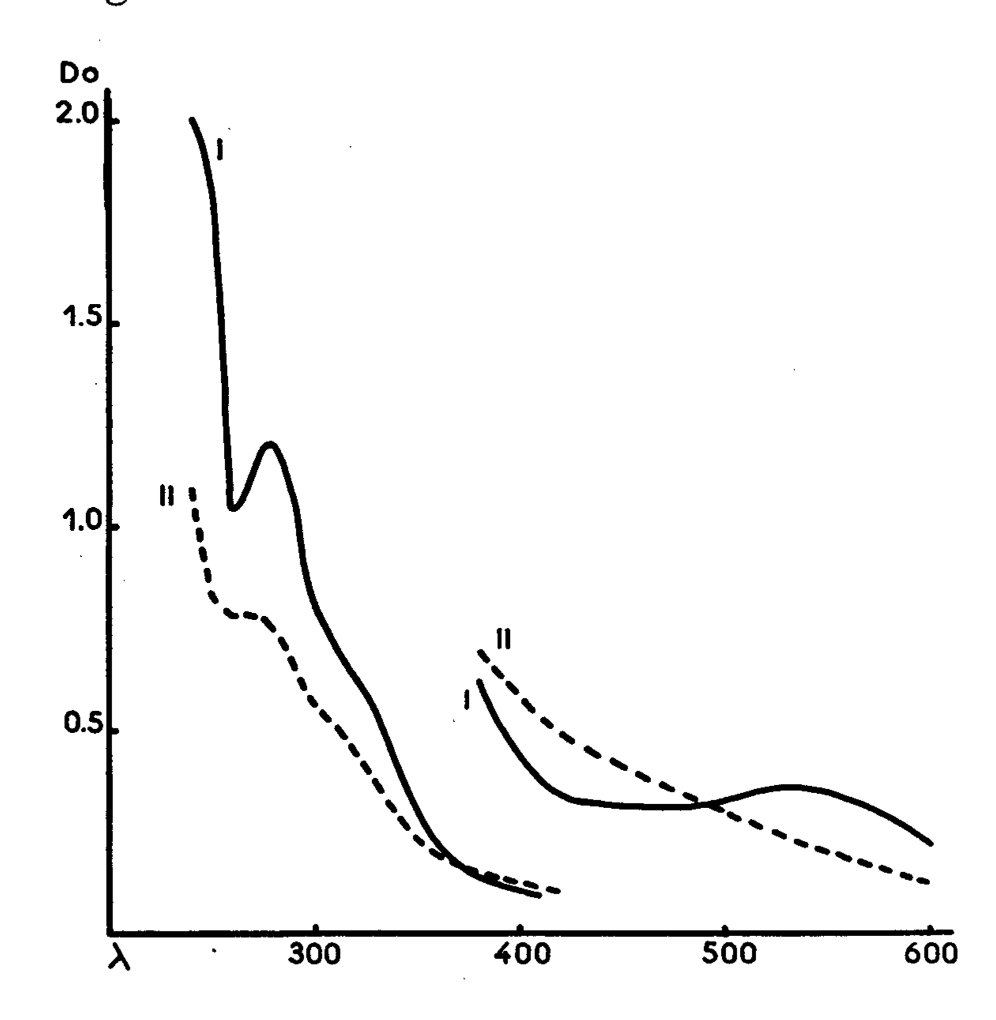
(*Laboratoire de Botanique générale, Faculté de Pharmacie, Paris.*)

ŒNOLOGIE. — *Application spectrophotométrique à l'étude de la casse oxydasique des vins.* Note (*) de MM. **Claude Flanzy** et **Charles Poux**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

La casse oxydasique des vins est caractérisée par une transformation rapide des matières colorantes du vin mis au contact de l'air. Pour un vin rouge limpide au départ, on voit d'abord celui-ci se troubler, puis prendre dans les 24 h une couleur bouillon de châtaigne caractéristique, d'où le nom de « casse brune » donné aussi à cette maladie.

Nous avons été amenés à préciser l'évaluation de l'état de l'évolution de la casse par une grandeur physique.

Nous avons mesuré au spectrophotomètre (Jobin-Yvon) les absorptions aux différentes longueurs d'ondes et construit les courbes d'absorption.



Les résultats sont présentés sur la figure 1. La courbe I représente la courbe d'absorption d'un vin cassant au temps 0, et la courbe II, celle du vin cassé après 24 h de contact à l'air.

L'épaisseur des cuves étant de 1 cm, le vin était dilué dans l'alcool à 50 %. La partie de la courbe située dans l'ultraviolet entre 2 400 et 4 200 Å a été construite à partir du vin dilué au 1/25e dans l'alcool à 50°; la partie de la courbe située dans le visible entre 3 800 et 6 000 Å à partir du vin dilué au 1/5e.

Le vin cassé après 24 h, fortement trouble, a été centrifugé pour éliminer le dépôt et la mesure a été effectuée sur la partie limpide à la même dilution.

Les vins rouges normaux présentent un maximum d'absorption dans le visible vers 5 300 Å. L'absorption diminue ensuite jusqu'à un palier allant de 4 900 à 4 300 Å puis croît à nouveau à partir de 4 200 Å. Dans l'ultraviolet

ils présentent une courbe avec un maximum vers 2 800 Å et un minimum vers 2 600 Å.

Les vins « cassés » n'ont plus de palier et présentent une courbe d'absorption constamment décroissante. En particulier, on constate que dans l'intervalle 4 900-4 300 Å, l'absorption croît avec la progression de la maladie et qu'inversement cette absorption diminue régulièrement entre 5 200-5 600 Å. Dans l'ultraviolet la différence de densité optique caractéristique entre le maximum à 2 800 Å et le minimum à 2 600 Å s'atténue graduellement avec l'évolution de la maladie pour n'être, après 24 h, qu'un épaulement vers 2 750 Å.

Le vin « cassé » a tendance à absorber de plus en plus dans le bleu et le violet, ce qui correspond au passage de la coloration du vin du rouge au jaune brun.

Les courbes d'absorption du vin sont donc utilisables dans la caractérisation de la « casse oxydasique » et permettent de suivre quantitativement l'évolution de la maladie et d'apprécier les mélanges de vin normal et de vin « cassé ».

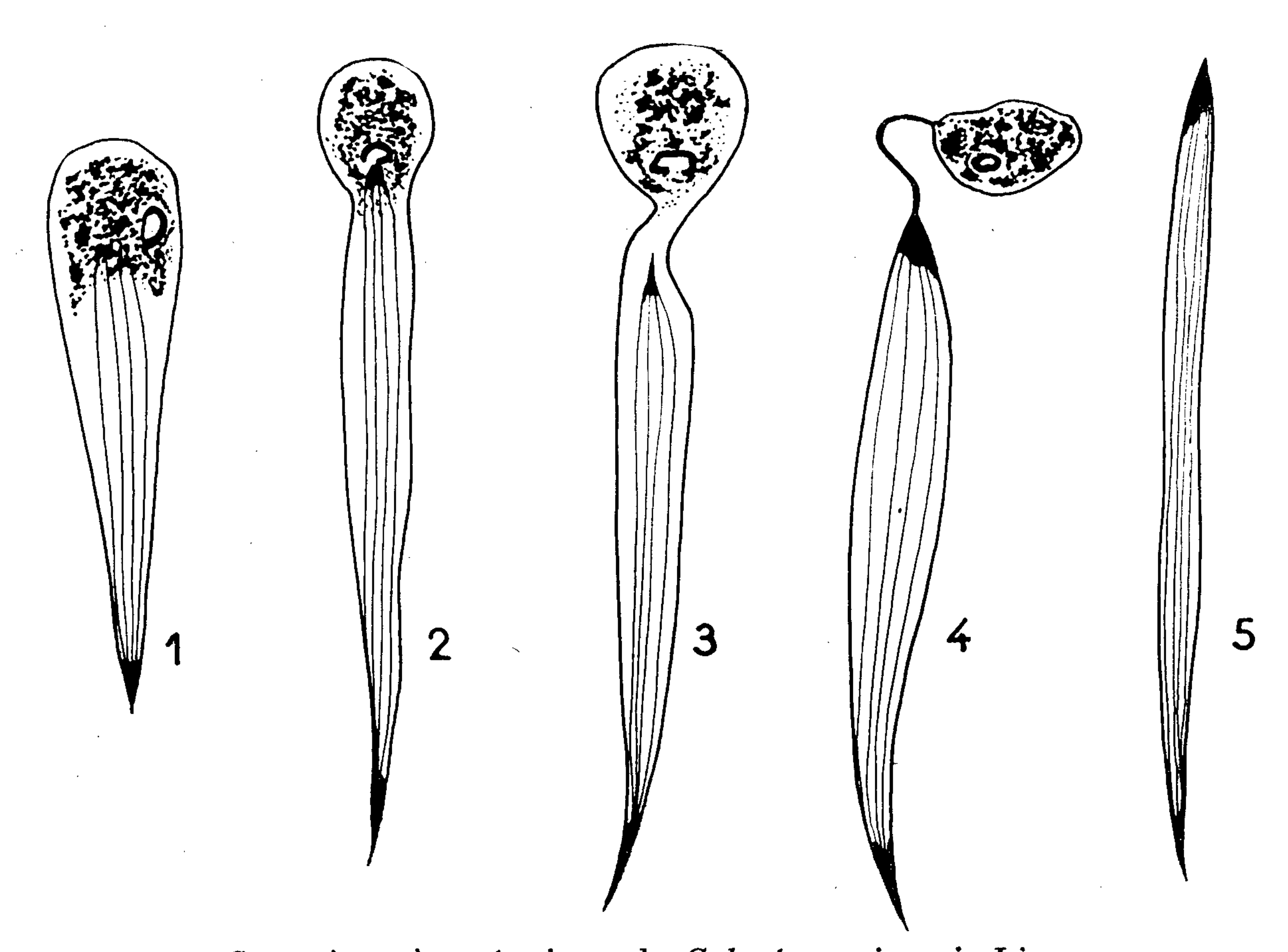
(*) Séance du 24 octobre 1960.

(*Station Centrale d'Œnologie, INRA, Narbonne.*)

CYTOLOGIE. — *Sur un processus d'élimination cytoplasmique, au cours de la spermiogenèse, dans la lignée atypique de* Calyptræa sinensis *Lin.* (*Mollusque Prosobranche*). Note (*) de M. **Wilfried Streiff**, transmise par M. Albert Vandel.

L'étude systématique de la spermatogenèse de *Calyptræa sinensis* m'a permis de mettre en évidence un processus jusqu'ici ignoré d'élimination cytoplasmique partielle au cours de la spermiogenèse dans la lignée atypique des Mollusques.

Dans le némasperme, un renflement antérieur se forme au moment où débute la dissociation des racines flagellaires (*fig.* 1). La spermie prend



Spermiogenèse atypique de *Calyptræa sinensis* Lin.
Suite de cinq figures montrant l'élimination cytoplasmique.

alors une forme en massue. La mise en évidence du corps de Golgi montre, à ce stade, la présence d'un dictyosome hypertrophié dans la région antérieure. De même, l'emploi des techniques mitochondriales permet d'observer la concentration du chondriome au niveau du renflement cytoplasmique. Dans une phase ultérieure, le dictyosome ayant contribué à la formation de l'acrosome remonte au-dessus de ce dernier au lieu de basculer latéralement comme dans le cas général. L'acrosome étant formé, une constriction cytoplasmique apparaît à son niveau (*fig.* 2). L'étranglement se resserre (*fig.* 3), refoulant chondriosomes et résidu de Golgi dans la goutte

cytoplasmique qui n'est bientôt plus reliée au spermatozoïde que par un pédoncule ténu (*fig.* 4). Ce dernier ne tarde pas à se rompre, éliminant la larme cytoplasmique et libérant le spermatozoïde atypique. Plus effilé que le type normal n'ayant pas subi ce phénomène d'élimination partielle du cytoplasme, le spermatozoïde atypique est dépourvu de tout chondriome et de tout résidu golgien (*fig.* 5). Malgré cette structure particulière, le spermatozoïde atypique présente la même motilité que le type normal.

Le phénomène d'élimination cytoplasmique, quoique partiel et s'effectuant par étranglement, paraît bien avoir la même signification que celui de la spermiogenèse typique. De ce fait, l'analogie existant entre les deux lignées spermatogénétiques chez les Mollusques semble singulièrement renforcée.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(*Laboratoire de Biologie générale, Faculté des Sciences, Toulouse.*)

HISTOPHYSIOLOGIE. — *Neurosécrétion chez la Tortue d'eau* Emys leprosa *Schw. Après destruction de la région épiphysaire.* Note (*) de MM. **Émile Aron**, **Charles Combescot**, **Jacques Demaret** et Mlle **Louise Guyon**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Dans une Note antérieure, nous avons signalé la protrusion des globes oculaires survenant après destruction de la région épiphysaire chez la Tortue d'eau *Emys leprosa* Schw. ([1]). Cette agression entraîne d'une façon concomittante, le repos testiculaire et la stimulation de la glande thyroïde ([2]).

Les relations hormonales existant entre certaines cellules basophiles de l'hypophyse et le fonctionnement de la thyroïde sont maintenant bien établies. Halmi, en 1950, a pu distinguer les cellules basophiles hypophysaires qui produisent l'hormone thyréotrope (basophiles β) de celles qui sécrètent l'hormone gonadotrope (basophiles δ), et établir les caractères cytologiques des unes et des autres (forme; colorabilité; situation dans les cordons; granulations; mitochondries; appareil de Golgi).

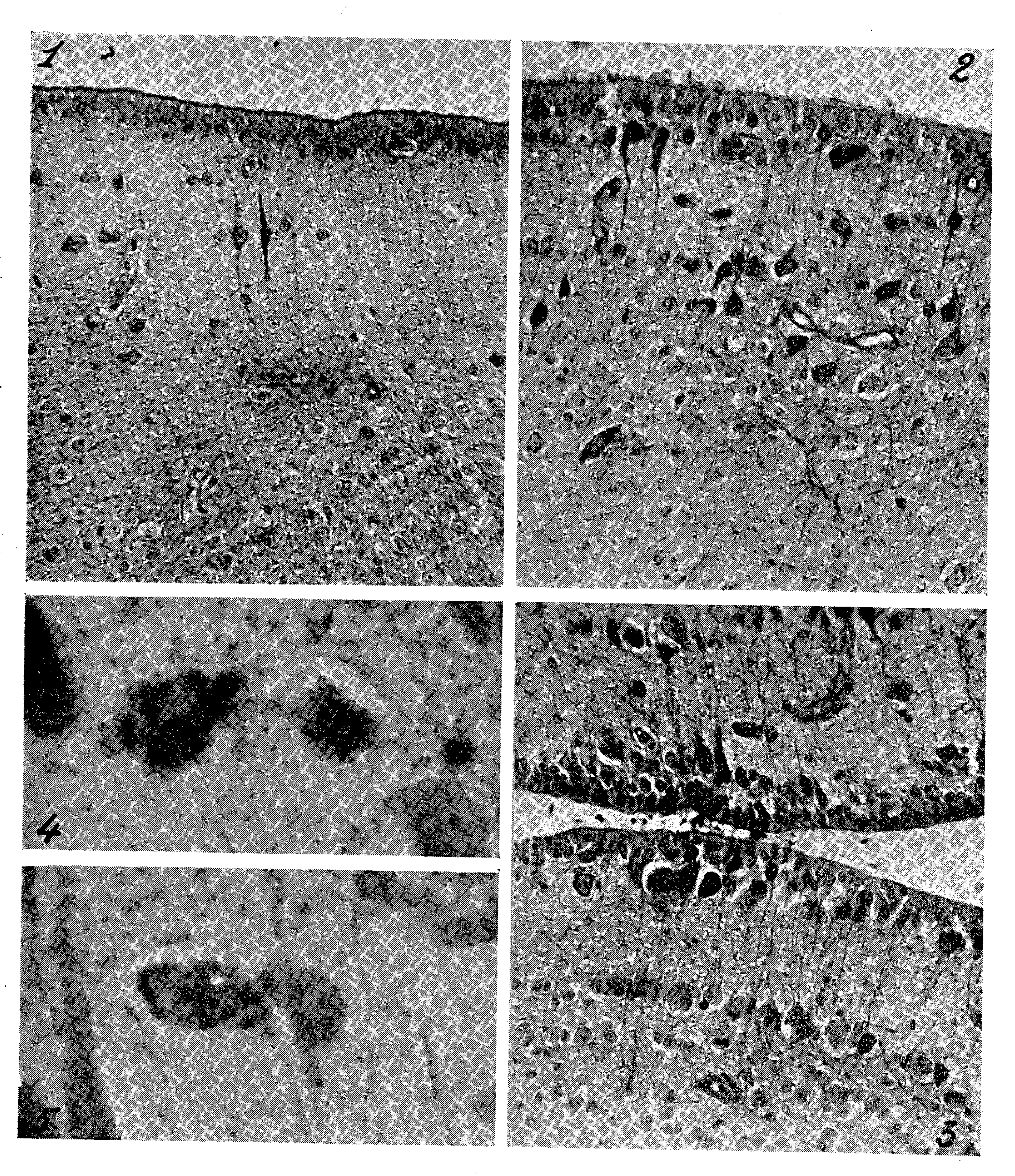
Les deux catégories de basophiles sont colorables par le réactif de Schiff à l'acide periodique, ce qui les a fait qualifier de Schiff-positives (P. A. S.). Les cellules β sont spontanément colorables par la fuschsine-paraldéhyde, après fixation au Bouin : les cellules δ ont besoin de subir une oxydation permanganique qui affaiblit d'autre part la colorabilité des cellules β, mais qui renforce celle des produits de neurosécrétion dans l'hypothalamus et dans la neurhypophyse (corps de Herring) où leur mise en évidence a d'abord été réalisée par l'emploi de l'hématoxyline chromique de Gomori.

Il est acquis que l'hyperthyroïdie expérimentale prolongée détermine un appauvrissement des cellules hypothalamiques en produits de neurosécrétion et une accumulation de ces substances au niveau de la pars nervosa de l'hypophyse, (Arvy, Fontaine et Gabe, 1956, chez la Truite; Courrier, Baclesse et Guyon, 1956, chez le Rat). Des injections de thyroxine provoquent, chez le Cobaye, la diminution du neurosécrétat au niveau de la voie hypothalamo-hypophysaire (Bugnon, 1957) ([3]).

Legait, chez la Poule Rhode-Island, a relaté dans une importante monographie les relations existant entre le système hypotalamo-hypophysaire et la glande thyroïde ([4]). L'extrait thyroïdien, la thyroxine et la T. S. H. à doses modérées entraînent une légère activité des cellules neurosécrétoires; l'administration prolongée de ces hormones s'accompagne d'une activité thyroïdienne croissante et d'une diminution progressive de la neurosécrétion; l'hypoactivité des cellules neurosécrétoires s'observe sous l'action de très fortes doses de thyroxine. Ainsi, l'hyperthyroïdie suscite une hyperactivité hypothalamo-neurohypophysaire et l'hypothyroïdie une hypo-

activité de ces mêmes éléments, mais tous les états d'hypoactivité du système neurosécrétoire n'occasionnent pas obligatoirement une hypoactivité de la glande thyroïde.

Après avoir pratiqué la destruction de la région épiphysaire de la Tortue d'eau *Emys leprosa* Schw., nous avons recherché quel pouvait être le degré de surcharge en produits neurosécrétés des noyaux paraventriculaires.



Noyaux paraventriculaires de la Tortue d'eau *Emys Leprosa* Schw.

Fig. 1. — Tortue mâle adulte témoin, sacrifiée en mai 1960 (G × 220).
Fig. 2 et 3. — Tortue mâle adulte, sacrifiée en mai 1960, après destruction de l'épiphyse en décembre 1959 (G × 220).
Fig. 4 et 5. — Même animal : aspect de la surcharge intraprotoplasmique des cellules neurosécrétoires après destruction épiphysaire (G × 990).

Nous avons examiné les noyaux paraventriculaires de Tortues dont l'épiphyse avait été détruite cinq mois auparavant et les avons comparés à ceux de témoins normaux. La destruction épiphysaire a déterminé une augmentation spectaculaire de la neurosécrétion, dont la substance est mise en évidence par la fuchsine-paraldéhyde, à la fois dans les protoplasmas, autour des noyaux cellulaires et dans les prolongements qui deviennent ainsi faciles à suivre, tatoués qu'ils sont par leurs grains et leurs chaînettes de neurosécrétion. Nous en donnons des photographies à un grossissement de 220 à 990 diamètres, avec en regard une image empruntée à une tortue normale témoin.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) E. Aron, C. Combescot et J. Demaret, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3386.

(2) E. Aron, C. Combescot et J. Demaret, *Thyréostimulation et repos sexuel après destruction de la région épiphysaire chez* Emys leprosa *Schw.*, Soc. Biol., Poitiers, séance de juillet 1960.

(3) L. Arvy, M. Fontaine et M. Gabe, *C. R. Soc. Biol.*, 150, n° 4, 1956, p. 625; *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 81, nos 2-3, 1956, p. 168; R. Courrier, M. Baclesse et L. Guyon *in* R. Courrier, F. Morel et A. Colonge, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 333; C. Bugnon, *Contribution à l'étude de la neurosécrétion diencéphalique, Thèse méd.*, Paris, 1957.

(4) H. Legait, *Contribution à l'étude morphologique et expérimentale du système hypothalamo-neurohypophysaire de la Poule Rhode-Island, Thèse d'Agrégation de l'Enseignement supérieur*, Louvain, 1959, S. I. T., Nancy.

(*École de Médecine, Laboratoire d'Histologie, Tours.*)

BIOLOGIE. — *Variations de la pression osmotique de* Picea excelsa *à la suite des attaques de* Dendroctonus micans *Kug.* (Coléopt. Scolytidæ). Note (*) de M. **Constantin Chararas**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Redoutable parasite de *Picea excelsa* en Europe centrale et orientale, *Dendroctonus micans* Kug. n'a fait jusqu'ici que des apparitions sporadiques dans l'Est de la France. Il convient donc de signaler sa présence dans la forêt domaniale de Saint-Prix (Morvan) où nous l'avons découvert pour la première fois au mois de mai 1959. Un an plus tard, nous avons pu suivre pendant plusieurs mois l'extension et les modalités d'attaque de cet Insecte dont l'influence sur l'économie forestière est extrêmement importante puisqu'il peut s'attaquer aux épicéas les plus vigoureux.

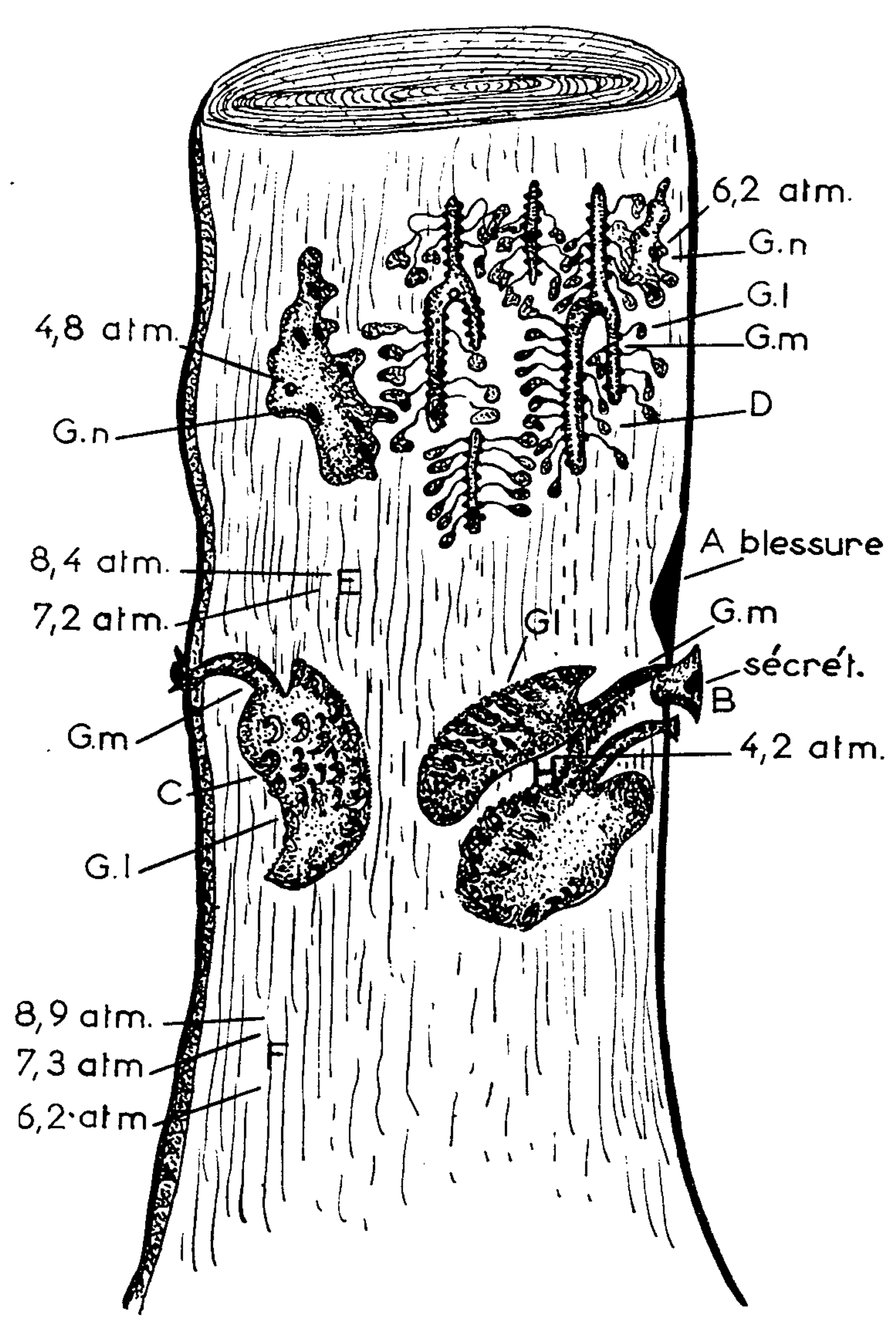
L'étude approfondie du liquide cortical de nombreux épicéas nous a montré en effet que *Dendroctonus micans* Kug. se rencontre sur des sujets à pression osmotique tout à fait normale, de 7,5 à 9,5 atm. Il faut noter cependant que l'Insecte manifeste une préférence très nette pour certains arbres ou même pour une zone localisée du tronc, où il se trouve en surpopulation. C'est pour cette raison que nous avons cherché à préciser le rôle de l'équilibre physiologique de l'épicéa dans les relations entre l'Insecte et la plante-hôte.

De manière générale, les arbres blessés sont incontestablement plus propices à l'installation de *D. micans* Kug., ce qui s'explique certainement par la baisse de la pression osmotique enregistrée au voisinage de la zone lésée. Mais nous pensons qu'il existe également à l'origine de la localisation préférentielle des Insectes dans cette zone un stimulus chimique résultant de l'oxydation des substances terpéniques au niveau de la blessure.

Par ailleurs, la libération des produits terpéniques varie selon les conditions climatiques et le même arbre peut devenir sensiblement plus attractif lorsque la région se trouve exposée à un ensoleillement direct, après une période pluvieuse. Les cellules corticales lésées perdent en effet leur pouvoir osmotique, si bien qu'il n'y a plus absorption d'eau par voie d'osmose, mais imbibition passive des tissus morts jusqu'à complète saturation. A ce stade, l'ensoleillement direct active le processus d'oxydation et, sous l'action combinée de l'air et de l'eau, la concentration terpénique diminue rapidement dans la zone traumatisée qui devient tout spécialement attractive. C'est ainsi que sur 386 épicéas attaqués nous avons dénombré 342 sujets blessés par le vent ou par la chute des arbres voisins lors de l'exploitation.

La nidification de *Dendroctonus* aggrave d'ailleurs rapidement les effets du traumatisme initial, car dans les régions attaquées, la pression osmotique accuse une baisse sensible, de 8,7 atm lors de l'installation des Insectes à 4,2 atm 48 jours plus tard. En détruisant une partie de l'écorce, l'Insecte détermine en effet une nouvelle diminution des échanges osmotiques, ce qui explique la baisse de pression osmotique enregistrée aux endroits attaqués, les tissus sains conservant au contraire un pouvoir osmotique sensiblement constant.

Il faut signaler, en outre, qu'au voisinage de l'attaque, la partie vivante de l'écorce et des vaisseaux criblés prend une coloration brunâtre, signe certain de modifications physicochimiques locales; ces modifications se trouvent d'ailleurs confirmées par les variations anormales du taux d'humi-



Représentation schématique des attaques de *Dendroctonus micans* Kug. et de *Ips typographus* L. sur un tronc de *Picea excelsa*. En A, blessure initiale lors de l'exploitation des arbres voisins. En B, sécrétion résineuse caractéristique avec système de galeries de *D. micans* Kug. (Gm, galerie maternelle; Gl, galeries larvaires). En C, galerie maternelle (Gm) et galeries larvaires (Gl) d'un autre système formant avec le précédent une attaque circulaire qui détermine un déséquilibre physiologique généralisé du biotope. En D, zone d'installation de *Ips typographus* L. avec plusieurs systèmes montrant les galeries maternelles Gm, les galeries larvaires Gl et les morsures de nutrition Gn; noter la basse pression osmotique comprise entre 4,8 et 6,2 atm. En E, zone non attaquée, au niveau de laquelle les variations de pression osmotique restent relativement faibles avec 8,4 atm à l'origine et 7,2 atm 15 jours plus tard. En F, zone saine avec une pression osmotique tout à fait comparable à celle de la zone E. Au contraire, dans la zone H, très attaquée avec deux systèmes de *Dendroctonus*, la pression osmotique n'atteint plus que 4,2 atm au bout de 48 jours.

dité corticale, qui peut passer brusquement de 85 % en période de pluie, à 15 % après exposition directe aux rayons solaires.

Bien que *Dendroctonus micans* Kug. s'installe de préférence sur les arbres blessés, il peut également attaquer des épicéas vigoureux; mais il est alors assez fréquent de trouver des trous de pénétration sans aucune trace d'évolution larvaire, et il arrive même parfois que les Insectes aban-

donnent l'arbre après y avoir pratiqué l'orifice d'entrée. L'analyse du liquide cortical fait apparaître dans ce cas une pression osmotique optimale de 9,2 atm qui atteste la pleine vitalité des sujets étudiés. Ceux-ci se trouvent dans les meilleures conditions physiologiques et c'est ce qui leur permet de réagir aux attaques de *Dendroctonus micans* Kug.; l'Insecte n'en reste pas moins un insecte primaire, car lorsqu'il y a surpopulation, ou en l'absence d'arbres blessés, il ne craint pas de s'attaquer aux épicéas en parfaite santé. Il prépare ainsi l'installation et l'extension de *Ips typographus* L. en créant les conditions propices à l'évolution de cette espèce.

Il faut ajouter enfin que *Dendroctonus micans* Kug. pond en moyenne de 80 à 110 œufs, et peut donner, selon les conditions climatiques, une ou deux générations annuelles, ce qui en fait une grave menace pour l'économie forestière en raison des dégâts considérables qu'il est susceptible de provoquer dans les peuplements d'épicéas.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(*Laboratoire de zoologie agricole. Institut national agronomique, 16, rue Claude-Bernard, Paris, 5e.*)

BIOCHIMIE. — *Combinaison des thiols avec les quinones se formant au cours de la mélanogénèse.* Note (*) de Mlle **Simone Bouchilloux** et Mme **Annie Kodja**, présentée par M. René Fabre.

Des combinaisons de type thioéther ont été caractérisées par action d'un excès de thiol (glutathion, cystéine) sur les quinones se formant au cours de la mélanogénèse.

L'action inhibitrice des thiols sur la formation des mélanines est connue depuis longtemps sans qu'on ait pu déterminer si elle provient d'une inhibition de la polyphénoloxydase ou d'une combinaison avec un ou plusieurs intermédiaires de la mélanogénèse ([1]). Les travaux relatifs à cette deuxième hypothèse sont partiellement contradictoires et difficiles à interpréter ([2]), ([3]), ([4]). L'utilisation comparée de la chromatographie sur papier [récemment appliquée à l'étude de la mélanogénèse *in vitro* ([5])], de la spectrophotométrie (appareil enregistreur « Beckman DK_2 ») et de la manométrie, nous a permis de dégager les faits principaux suivants :

— Si l'on oxyde la L-dihydroxyphénylalanine (dopa) par la polyphénoloxydase [enzyme purifiée de *Psalliota campestris* ([6])] à des pH compris entre 6,0 et 6,8 (tampon phosphates), en présence d'un assez grand excès de glutathion (GSH) (2 moles/mole), le milieu reste incolore. La spectrophotométrie et la chromatographie sur papier en divers solvants (*voir* tableau) indiquent la disparition très rapide de la dopa, remplacée par un composé A (λ_{max} 291 et 255,5 mμ, λ_{min} 275 mμ), *o*-diphénolique, acide α-aminé, non indolique. Ces propriétés ont été confirmées avec A purifié isolé par chromatographie sur charbon « Activit 50 XP » afin d'éliminer le glutathion oxydé (GS-SG) éventuellement présent; en fait, il ne s'en forme que des traces. La consommation d'oxygène est de 1 atome par molécule de substrat. Ces faits permettent de conclure au schéma réactionnel suivant :

$$\text{dopa} + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{enzyme}} \text{dopaquinone},$$

$$\text{dopaquinone} + \text{GSH} \rightarrow \text{dopa} - \text{SG}(= \text{A}).$$

Le composé dopa-SG, non oxydable par la polyphénoloxydase, est particulièrement stable et ne s'autoxyde que très lentement en un pigment jaune, puis brun, soluble dans l'eau. Les faits sont comparables avec la cystéine (CSH) mais la dopa-SC est moins stable.

— Si l'on oxyde de même le 5,6-dihydroxyindole (diOHI.) [préparé extemporanément ([5])], à des pH compris entre 6,0 et 6,8 en présence de GSH (de 1 à 5 moles/mole), on observe la formation très rapide d'un composé majoritaire α, *o*-dihydroxylé, acide α-aminé, indolique, accompagné d'une faible proportion de β. Le milieu reste incolore (λ_{max} 307

et 295 mμ, λ_{min} 260 mμ) pendant un temps variable selon la quantité de GSH : de quelques minutes à plusieurs heures. Il apparaît ensuite un pigment vert, soluble dans l'eau (λ_{max} 615, 380 et 315 mμ). La consommation d'oxygène avec un rapport GSH/substrat de 5/1 est de 1 atome par molécule de dihydroxyindole. On peut conclure que α est le 5,6-dihydroxyindole-SG.

	R_f en				Réactions avec			
	BuOH acétique (*).	Me-Et-cétone acétique (**).	H_2O (papier lavé).	Fluorescence L. de Wood.	Ninhydrine.	NO_3Ag $+NH_4OH$.	R. d'Ehrlich.	R. d'Arnow.
GSH	0,05	0,57	0,96		+	—		
GS-SG	0,00	0,27	0,96		+	—		
CSH	0,18	0,70	0,96		+	—		
CS-SC	0,00	0,27	0,96		+	—		
Dopa	0,09	0,61	0,70		+	+	—	+
A = dopa-SG	0,01	0,28	0,91		+	+	—	+
Dopa-SC	0,01	0,29			+	+	—	+
Dopachrome			0,91	Opaque	—	+	+	
DiOHI	0,70	0,80	0,40	Bleu	—	+	+	+
Carb. diOHI	0,40	0,90	0,20-0,70	»	—	+	+	+
α = diOHI-SG	0,04	0,57	0,89	»	+	+	+	+
β	0,00	0,23		»	?	+	+	+
α′=carb. diOHI-SG.	0,02	0,52	0,89	»	+	+	+	+
β′	0,00	0,22		»	?	+	+	+
X	0,01	0,31	0,96	Jaune				
Phosphates	0,03	0,50	0,96			+		
Noradrénaline	0,20	0,75	0,16		—	+		
Noradrénaline-SG	0,01	0,28			+	+		

(*) *n*-butanol-acide acétique-eau : 78-5-17.
(**) Méthyléthylcétone-acide acétique-eau : 75-25-30.

— Des expériences non quantitatives avec le 2-carboxy-5,6-dihydroxyindole (carb. diOHI.) [préparé extemporanément ([5])] conduisent à une conclusion similaire : formation très rapide de α′ et d'une faible quantité de β′ : λ_{max} 320 et 310 mμ, λ_{min} 275 mμ.

— L'oxydation de la dopa par la polyphénoloxydase à pH 6,8 en présence de quantités de GSH (ou de CSH) comprises entre 1 et 1,5 mole/mole conduit à un ensemble complexe de réactions. Il y a compétition entre le groupement SH du GSH et le groupement NH_2 de la dopa. Le milieu rosit rapidement. On observe avec la disparition de la dopa, à la fois la formation de dopa-SG et celle de dopachrome, lequel conduit successivement au 5,6-dihydroxyindole puis au 5,6-dihydroxyindole-SG. Une substance de fluorescence jaune, X, surtout présente dans les premières minutes et qui est augmentée par le bisulfite nous reste inconnue. On obtient finalement une oxydation rapide des thioéthers, probablement copolymérisés, en un pigment noir verdâtre, soluble dans l'eau.

Ces faits sont à rapprocher des observations de Roston (7) avec la noradrénaline et l'adrénaline, et de Heacock (8) avec l'adrénochrome. Des expériences comparatives avec la noradrénaline nous ont permis d'identifier le composé noradrénaline-SG. Nous avons observé que le noradrénochrome en présence d'un large excès de GSH à pH 6 se réarrange en dihydroxyindole puis dihydroxyindole-SG. L'analogie avec les travaux antérieurs relatifs au catéchol (9), (10), (11) est également à souligner.

Les faits exposés peuvent rendre compte de l'action inhibitrice des thiols par blocage de la mélanogénèse au stade dopa-SG. Ils conduisent d'autre part à envisager l'éventualité de la formation de pigments noirs soufrés différents des mélanines, notamment par leur solubilité dans l'eau, à moins qu'ils ne soient combinés à des protéines insolubles. L'étude de la réactivité des groupements —SH de protéines sulfhydrylées à l'égard des quinones étudiées ci-dessus est en cours.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) A. B. Lerner et T. B. Fitzpatrick, *Pigment Cell Growth*, Myron Gordon, Academic Press, New-York, 1953, p. 319.

(2) R. R. Kohn, *Enzymologia*, 17, 1955, p. 193.

(3) H. S. Mason, *Pigment Cell. Biology*, Myron Gordon, Academic Press, New-York, 1959, p. 563.

(4) S. Roston, *J. Biol. Chem.*, 235, 1960, p. 1002.

(5) S. Bouchilloux et A. Kodja, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 42, 1960, p. 65.

(6) Préparée par le Docteur Kertesz (D. Kertesz et R. Zito, *Nature*, 179, 1957, p. 1017).

(7) S. Roston, *Arch. Biochem. Biophys.*, 85, 1959, p. 74.

(8) R. A. Heacock et B. A. Scott, *Canad. J. Biochem. Physiol.*, 37, 1959, p. 1087.

(9) M. G. M. Pryor, *J. Exptl. Biol.*, 32, 1955, p. 468.

(10) H. S. Mason, *Nature*, 175, 1955, p. 771.

(11) A. Kodja et S. Bouchilloux, *C. R. Soc. Biol.*, 154, 1960, p. 737.

(*Laboratoire de Chimie biologique, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Marseille.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Existence d'une forme « combinée » de l'acide 2-céto-gluconique dans les cultures d'une souche de* Pseudomonas fluorescens. Note (*) de M. **Benoît Wurtz** et Mme **Denise Cagniant**, présentée par M. Roger Heim.

Des recherches antérieures ([1]) sur le métabolisme de Bactéries, qu'il a été possible d'identifier depuis lors à une souche de *Pseudomonas fluorescens*, ont montré que les cultures de ces germes, faites en milieux glucosés, chlorurés, renferment un glucoprotéide précipitable à l'acétate de plomb et dont la composition, en ce qui concerne la fraction minérale est sensiblement constante (Pb : 52,5 à 53,5 %; Cl′ : 6,24 à 6,81 %). La fraction organique de ce composé est constituée d'une partie protidique (présence d'azote, réaction du biuret fortement positive) et d'une partie glucidique (réduction des sels de cuivre et d'argent, réaction de Berg propre aux acides-alcools, positive; réduction de l'acide phosphomolybdique; formation de furfural à la distillation chlorhydrique), mais ne renferme pas de glucose (réaction à l'α-naphtol négative, pas d'osazone par la phénylhydrazine). Une substance glucoprotéidique à propriétés analogues a pu être extraite des mêmes milieux par une méthode plus douce (faisant intervenir les résines échangeuses d'ions) et sa fraction glucidique a été identifiée à l'acide 2-cétogluconique. La technique utilisée est la suivante : les cultures en eau peptonée glucosée, âgées de 48 h, débarrassées des corps microbiens, sont passées d'abord sur « Permutite C 50 » qui retient les cations et les substances à fonction basique (peptides, amino-acides), puis sur « Déacidite A 300 D ». La fraction retenue sur cette résine échangeuse d'anions est éluée par l'acide formique à 10 % et soumise à l'analyse après élimination de l'agent d'élution (par extraction éthérée suivie d'évaporation sous vide). Contrairement au résultat que permettrait de prévoir la nature de la résine employée, le composé retenu sur Déacidite renferme non seulement un constituant acide, normal, mais encore un constituant à caractère *basique* qui a été identifié à un polypeptide de composition voisine de celle de la peptone entrant dans le milieu de culture. La teneur en azote, constante pour les divers échantillons analysés, oscille entre 4,64 et 4,66 %. L'analyse du composé a été effectuée par chromatographie sur papier du produit d'hydrolyse chlorhydrique (HCl 2 N, 30 mn à 120° C) qui a révélé la présence de la quasi-totalité des amino-acides constitutifs de la peptone. D'autre part, le composé retenu sur « Déacidite » donne une intense réaction de Berg, présente un fort pouvoir réducteur vis-à-vis des sels de cuivre, d'argent et de l'acide phosphomolybdique; il fournit des quantités importantes de furfural à la distillation chlorhydrique. Le spectre d'absorption infrarouge présente d'une part une bande à 1745 cm^{-1} caractéristique des acides α-cétoniques ([2]), d'autre part un couple de bandes à 1665 et 1540 cm^{-1}

révélant la présence de fonctions amides. Le constituant acide a été identifié à l'acide 2-cétogluconique après transformation en sel de calcium : la fraction retenue sur « Déacidite » est traitée par du carbonate de calcium et centrifugée; la solution surnageante est concentrée et additionnée d'un excès d'éthanol à 96° : il se forme un précipité pâteux qui cristallise progressivement. Les cristaux sont recueillis, séchés sous vide et analysés : ils donnent la réaction de Berg, réduisent fortement l'acide phosphomolybdique, les sels de cuivre et d'argent, produisent du furfural. Ils renferment 10,15 % de calcium. Ces propriétés sont identiques à celles d'un échantillon authentique de 2-cétogluconate de calcium préparé d'après la technique de De Moss ([3]) avec une souche de *Pseudomonas fluorescens* d'origine connue (provenant de la collection de l'Institut Pasteur n° 5690). La substance retenue sur « Déacidite » renferme donc simultanément de l'acide 2-cétogluconique et un polypeptide.

Ces observations permettent de *conclure* que : dans les cultures en milieux glucosés de la souche de *Pseudomonas fluorescens* étudiée, l'acide 2-cétogluconique, produit normal du métabolisme de ce germe, existe sous une forme associée à une fraction polypeptidique. Cette substance, dans laquelle les présentes recherches ne permettent pas de préciser la nature des forces d'association, n'est pas un simple mélange car les propriétés du constituant azoté sont différentes de celles des polypeptides et aminoacides libres du milieu : il est retenu, non sur « Permutite », mais sur « Déacidite ». Les rapports structuraux que cette combinaison présente, d'une part avec le glucoprotéide extrait par précipitation plombique ([1]), d'autre part avec une substance analogue extraite des cultures de la souche de *Pseudomonas fluorescens* n° 5690 de l'Institut Pasteur, font l'objet de recherches actuellement en cours.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

([1]) B. Wurtz et Mme D. Cagniant, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 39, 1957, p. 1139.

([2]) A. Weissberger, *Techniques of Organic Chemistry*, IX, Chemical Applic. of Spectroscopy, p. 454, Inters. Pub. New-York, 1956.

([3]) R. D. De Moss, in *Methods in Enzymology*, S. P. Colowick, N. O. Kaplan, III, p. 234, Academic Press, New-York, 1957.

(*Institut de Chimie biologique, Faculté des Sciences, Université de Strasbourg.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Sur l'origine de l'oxygène dégagé au cours de la photosynthèse.* Note (*) de MM. **Eugène Roux**, **Pierre Guérin de Montgareuil**, **Jean-Michel Galmiche** et **Jacques Duranton**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

Les expériences relatées dans cette Note ont permis d'évaluer la part de l'oxygène des ions phosphates dans l'oxygène libéré au cours de la photo-synthèse chez les végétaux chlorophylliens.

Le problème de l'origine de l'oxygène produit par photosynthèse a été jusqu'ici abordé avec l'emploi de molécules CO_2 ou H_2O marquées à l'oxygène 18. Un résultat classique est que l'oxygène dégagé possède la composition isotopique de l'eau ([1]), ([2]).

L'importance des réactions de photophosphorylation liées à la genèse des liaisons phosphates riches en énergie nous a conduit à examiner le cas où l'oxygène 18 est apporté au sein d'une molécule de phosphate minéral. L'expérience est réalisée sur une feuille de tabac suivant le schéma de la figure ci-après.

La feuille dont le pétiole plonge dans une solution de phosphate d'ammonium doublement marqué avec ^{32}P et ^{18}O est disposée dans une enceinte de « plexiglass » transparente, étanche et de petite dimension (80 ml) afin de diluer le moins possible l'oxygène provenant de la photosynthèse. Un circuit fermé permet de compenser les variations de composition de l'atmosphère de l'enceinte. Il comporte, dans l'ordre :

— un piège à neige carbonique pour retenir l'eau de transpiration qui perturberait l'analyse du CO_2;

— un dispositif d'introduction discontinue, à mesure que le gaz carbonique est consommé, du mélange $CO_2 + 4\,N_2$ en vue de maintenir une composition voisine de celle de l'air;

— une vessie de caoutchouc qui permet d'opérer à volume variable et pression constante;

— un dispositif de prélèvement d'échantillons pour analyse au spectromètre de masse;

— une pompe à membrane qui assure la circulation et le mélange des gaz;

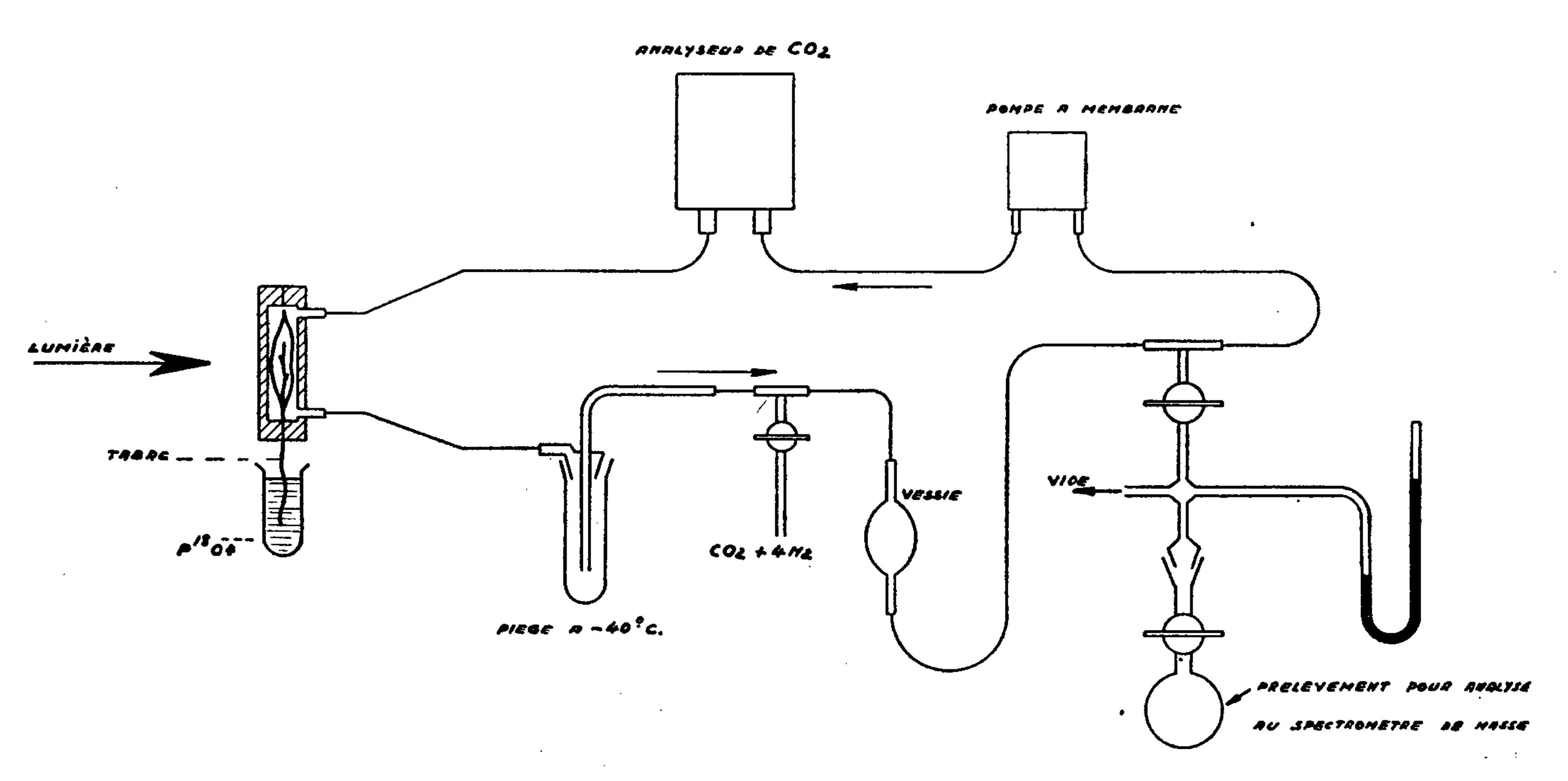
— un analyseur de CO_2 par absortiométrie infrarouge non dispersive.

L'abondance isotopique en excès de l'oxygène 18 dans le phosphate est de 48 %; les 50 μ curies de $^{32}PO_4$ ajoutés servent à connaître le taux d'incorporation du phosphate dans la feuille. L'éclairement en lumière blanche est de l'ordre de 10 000 lx.

L'expérience dure 9 h pendant lesquelles on effectue à quatre reprises un prélèvement de gaz sur le circuit pour analyse au spectromètre de masse. L'atmosphère de l'enceinte où se trouve la feuille et du circuit

est entièrement renouvelée à chaque fois. Le premier prélèvement est opéré au bout de 2 h à la fin de la nutrition pétiolaire, la feuille ayant alors absorbé 2,5 mg de phosphore, soit 2,8 mg d'oxygène 18. Après quoi la solution de phosphate est remplacée par de l'eau pure. Les autres prélèvements ont lieu respectivement après 4, 6 et 9 h.

Après les temps de 4 et 6 h, on prélève également avec un emporte-pièce des rondelles de tissus foliaires qui sont immédiatement plongées dans l'azote liquide et broyées ; la poudre est ensuite lyophilisée et l'eau soumise à une réaction d'échange avec du CO_2 pour la détermination de sa teneur en oxygène 18 ([3]).



L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau ci-dessous. Le volume initial, enceinte + circuit, est toujours de 140 ml ; le volume final est dans chaque cas déterminé par la quantité du mélange $CO_2 + 4\ N_2$ qu'il a fallu introduire. L'analyse effectuée sur l'atmosphère globale de la feuille permet de remonter à la composition de l'oxygène d'origine photosynthétique. Dans une première démarche on néglige la faible perturbation due à l'oxygène consommé par la respiration.

	Atmosphère de la feuille (enceinte + circuit).		Abondance isotopique en excès de l'oxygène 18 (%).	
Temps (h).	Volume (ml).	Teneur.	Oxygène de la photosynthèse.	Eau de la feuille.
0	140	20,9 % O_2	0	–
2	290	22 »	0,018	–
4	240	21,8 »	0,047	0,035
6	240	19,5 »	0,082	0,036
9	240	22 »	0,040	–

Dans les deux cas où la comparaison est possible, on constate que la teneur en isotope 18 de l'oxygène produit au cours de la photosynthèse est supérieure à celle de l'eau de constitution de la feuille. Par ailleurs, l'allure

des évolutions ne permet guère d'attribuer à l'eau un rôle de précurseur immédiat, surtout lorsqu'on connaît la rapidité de la réponse de l'oxygène dégagé à un marquage de l'eau par l'oxygène 18.

Des expériences portant sur une durée plus brève (30 mn) de nutrition pétiolaire avec le phosphate conduisent à la même constatation. Ainsi, 140 mn après la fin de l'absorption du phosphate, les abondances isotopiques en excès de l'oxygène 18 sont respectivement de 0,040 et 0,011 % pour l'oxygène dégagé et pour l'eau de la feuille.

Ces résultats ne sont pas en contradiction avec l'énoncé classique fondé sur l'identité de composition isotopique de l'eau et de l'oxygène : il n'est pas surprenant que la source de l'oxygène photosynthétique réside finalement dans l'eau, puisque celle-ci constitue plus de 90 % de la feuille et contient près de 90 % d'oxygène qui participe activement aux réactions d'hydrolyse des composés phosphorylés. C'est le mécanisme proposé de la photolyse de l'eau qui est ici mis en cause. Les présentes expériences posent en termes renouvelés dans le sens d'une relation directe avec les processus de photophosphorylation, le problème du mécanisme de production de l'oxygène libéré par la cellule chlorophyllienne exposée à la lumière.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) S. RUBEN, M. RANDALL, M. KAMEN et J. L. HUDE, *J. Amer. Chem. Soc.*, 63, 1941, p. 877.

(2) A. P. VINOGRADOV et R. V. TEISS, *Doklady Acad. Sc. U. R. S. S.*, 33, 1941, p. 490.

(3) M. COHN et H. C. UREY, *J. Amer. Chem. Soc.*, 60, 1938, p. 679.

(*Service de Biologie C.E.A., Saclay.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude sur le mode d'action des biguanides hypoglycémiants.* Note (*) de M. **François Meyer**, présentée par M. Jacques Duclaux.

Mise en évidence d'une absence de corrélation entre l'action hypoglycémiante des biguanides et leur effet inhibiteur sur la respiration et la phosphorylation oxydative.

Certains dérivés guanidiques, alkyl- et biguanides en particulier, provoquent sur l'animal une baisse de la glycémie qui reflète une accélération du transfert du glucose vers les tissus.

L'étude de l'action de la phénéthyl-biguanide a conduit plusieurs auteurs [Wick, Ellen et Larson ([1]), Williams et Tyberghein ([2]), Ungar ([3])] à montrer que cette substance inhibe la phosphorylation oxydative ainsi que la respiration de divers substrats du cycle tricarboxylique, en particulier celui du succinate. L'hypoglycémie serait, selon ces auteurs, due à une augmentation de la glycolyse anaérobie.

Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus en comparant l'action de la phénéthyl-biguanide avec celle de la NN-diméthylguanyl-guanidine sur les mitochondries de foie et le diaphragme du Rat, infirment cette hypothèse et nous ont conduit à une interprétation différente de l'action des biguanides.

Techniques. — *a.* Pour étudier l'effet des guanides sur la respiration et la phosphorylation oxydative, nous avons isolé des mitochondries de foie de rat (mâles de 150 à 200 g, nourris avec un régime de composition constante) dont la séparation a été effectuée par centrifugation fractionnée dans du saccharose à 0,25 M à 0°, selon Potter ([4]). Incubation 30 mn à 30° dans des fioles de Warburg d'un milieu composite comprenant : Tampon phosphate de K, pH 7,3, 0,14 M; $MgCl_2$, 0,005 M; ATP, 0,002 M; tampon Tri-(hydroxy) méthylaminométhane) pH 7,3 0,050 M, glucose, 0,020 M; hexokinase de levure « Sigma » 20 % pure, 1 mg; NaF, 0,020 M; mitochondries : 5 mg de protéine. Après l'incubation nous avons précipité les protéines avec de l'acide trichloracétique (TCA) 4 % et dosé sur le surnageant le phosphore minéral non estérifié.

b. Pour déterminer la stimulation de la production d'acide lactique dans le muscle, nous avons incubé des diaphragmes de rats mâles de 100 g dans un tampon Ringer-Phosphate à pH 6,8 qui contenait 4 % de glucose. Température : 37°. Gaz : O_2 pur. Les dosages d'acide lactique ont été effectués sur la totalité du contenu après défécation, avec la lactico-déshydrogénase de levure purifiée, avec du ferricyanure comme accepteur ([5]).

Résultats. — Le tableau I montre que l'action des guanides sur les mitochondries, en présence de succinate comme substrat, n'est pas liée à leur

action hypoglycémiante. Certains guanides, tels que la guanidine et la paludrine, dont l'action hypoglycémiante est très faible, inhibent l'action de la succinooxydase plus fortement que ne le font les guanides hypoglycémiants. Par contre, la diméthyl-biguanide dont le pouvoir hypoglycémiant

TABLEAU I.

Action sur la respiration du succinate et sur la phosphorylation oxydative de différents dérivés guanidiques d'activité hypoglycémiante décroissante.

Mol/l.	Inhibition de la respiration (%). 10^{-2}.	5.10^{-2}.	10^{-1}.	Rapport P/O (*). 10^{-2}.	5.10^{-2}.	Indice de l'activité hypoglycémiante.
Synthaline	46	76	90	0,4	0,2	1,0
Phénéthyl-bg	33	73	100	0,2	0,2	0,5
Diméthyl-bg	0	0	5	1,8	1,8	0,1
Monométhyl-bg	23	38	52	0,5	0,3	0,001
Diméthyl-G	18	32	40	0,2	0,2	0,001
Guanidine	100	100	100	0,1	0,1	0,001
Paludrine	73	90	93	0,5	0,4	0,001

(*) P/O exprime le rapport moléculaire entre le phosphore estérifié et l'oxygène consommé au cours de la respiration du succinate.

TABLEAU II.

Action sur la respiration du succinate et sur la phosphorylation oxydative de deux biguanides hypoglycémiants.

Concentration.		Témoin. O_2 (*).	P/O.	Phénétyl-Bg. O_2.	P/O.	Diméthyl-Bg. O_2.	P/O.
a.	10^{-2}	9,6	1,8	12,5	0	9,8	1,8
	5.10^{-3}	9,8	1,7	4,2	0,5	9,6	1,7
	10^{-3}	9,2	1,8	9,3	1,6	9,2	1,8
b.	10^{-2}	16,2	1,5	6,8	0,2	15,8	1,6
	5.10^{-3}	–	–	13,5	0,8	16,2	1,5
	10^{-3}	15,8	1,5	16,2	1,3	16,8	1,5

(*) Consommation de O_2 en microlitres par milligramme de mitochondries, exprimées en protéines, en 30 mn. Incubation à 30°.

TABLEAU III.

Action des biguanides sur la production d'acide lactique par le diaphragme.

Milligrammes d'acide (—*l*)-lactique/100 mg tissu frais. Incubation : 1 h à 37°.

Expérience.	Témoins.	Diméthyl-Bg 5.10^{-4}.	Témoins.	Phénéthyl-Bg 5.10^{-5}.
a	0,193	0,240	0,105	0,123
b	0,280	0,350	0,340	0,392
c	0,180	0,206	0,260	0,288
d	0,400	0,450	0,197	0,218
e	0,360	0,465	0,357	0,385

est proche de celui de la phénéthyl-biguanide, n'a aucune action inhibitrice ni sur la respiration, ni sur la phosphorylation oxydative. On remarquera que nous retrouvons avec la phénéthyl-biguanide les résultats obtenus par les auteurs (tableau II). En outre, à des concentrations *faibles* de biguanides (5.10^{-4} pour la diméthyl- et 5.10^{-5} pour la phénéthyl-biguanide) on constate une accélération de l'ordre de 15 à 20 %. *Il est clair qu'il n'y a pas de corrélation entre l'action hypoglycémiante des guanides et leur action inhibitrice sur la respiration et la phosphorylation oxydative des mitochondries.*

La stimulation de la respiration pour des doses faibles de biguanide n'a pas pu être retrouvée sur un organe intact, le diaphragme. Par contre, le tableau III permet de constater que la phénéthyl-biguanide et la diméthyl-biguanide accélèrent la glycolyse *aérobie* de ce tissu, menant à une formation accrue d'acide lactique.

Discussion. — Il ne semble donc pas que l'effet des biguanides sur le transfert du glucose dans les tissus soit dû à la suppression du métabolisme oxydatif; il semble, par contre, que ces substances exercent un effet sur l'accélération de la glycolyse *aérobie.* Une augmentation semblable de la glycolyse en présence d'une respiration intacte a été décrite par Dickens [6]. L'action stimulante des biguanides sur la glycolyse aérobie peut trouver son explication dans le fait qu'elles sont des inhibiteurs de l'amino-oxydase [Blaschko [7]]; cette question est actuellement à l'étude.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

[1] N. WICK, R. ELLEN, LARSON et G. F. SERIF, *J. B. C.*, 233, 1958, p. 296.

[2] J. M. TYBERGHEIN et R. H. WILLIAMS, *Proc. Soc. Exptl. Med.*, 96, 1957, p. 29.

[3] G. UNGAR, S. PSYCHOYOS et H. A. HALL, *Metabolism Clinical and Experimental*, 9, 1960, p. 36.

[4] POTTER in *Methods in Enzymology*, New-York, 1955.

[5] P. SLONIMSKY, W. TYSSAROWSKI et F. LABEYRIE (sous presse).

[6] F. DICKENS, *B. J.* 33, 1939, p. 2017.

[7] H. BLASCHKO et R. DUTHIE, *B. J.*, 39, 1945, p. 347.

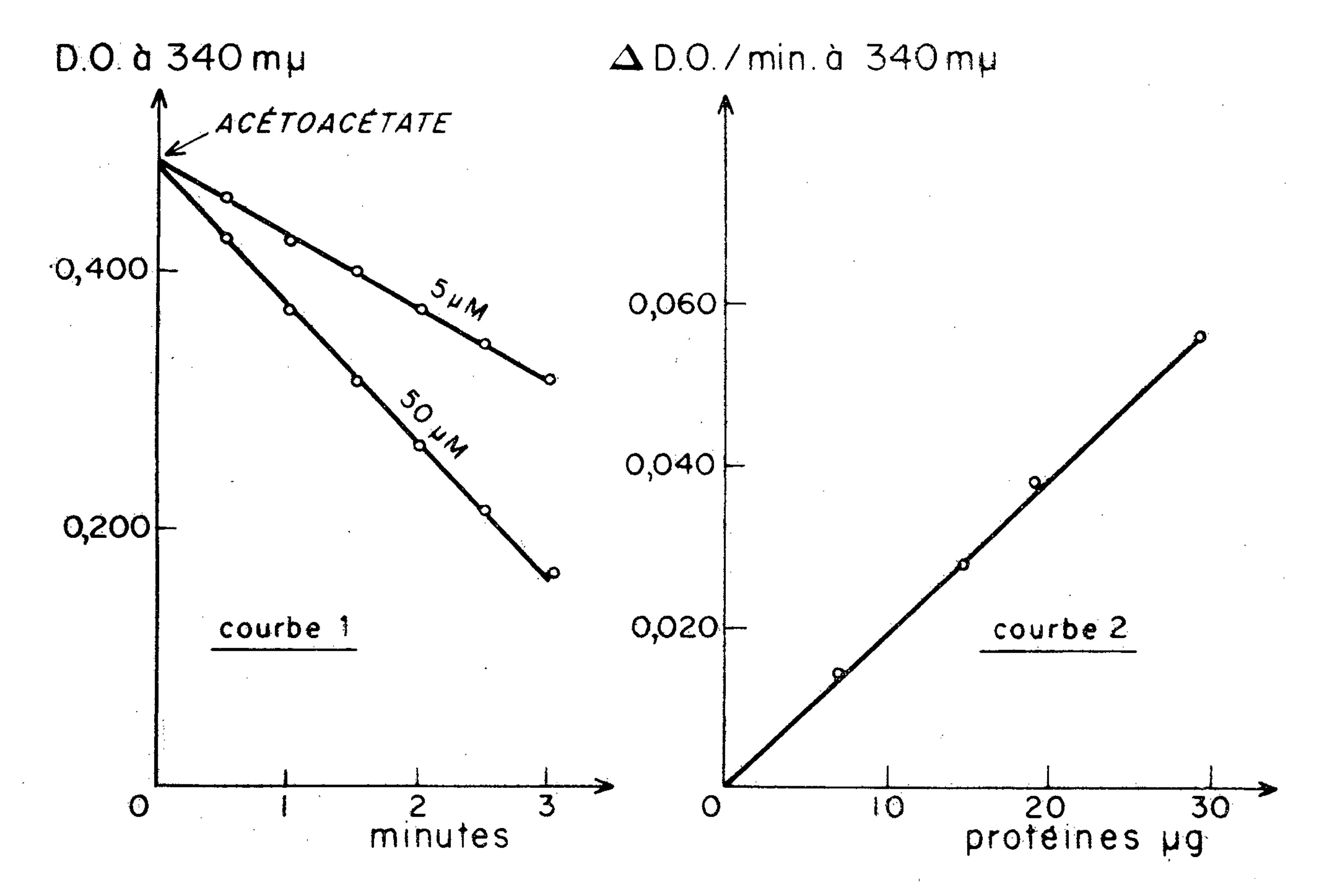
(*Institut de Biologie physicochimique, Service de Biochimie « B », Paris, 5e.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude de la* D (—)-β-*hydroxybutyrate déshydrogénase de* Bacillus Megatherium. Note (*) de M. **Raymond Gavard**, Mlles **Colette Combre** et **Anne Tuffet**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Propriétés d'une β-hydroxybutyrate déshydrogénase isolée à partir d'un extrait bactérien.

L'acide β-hydroxybutyrique existe dans la nature sous deux formes : la forme L (+)-dextrogyre (*d*-BoH) est métabolisée par les organismes supérieurs : sous forme de dérivé de la coenzyme A (*d*-BoH-CoA). Elle entre dans le cycle de dégradation des acides gras ([1]), ([2]) et l'une des enzymes qui agit sur elle, la β-hydroxybutyryl CoA déshydrogénase a été isolée et cristallisée ([3]), ([4]).

La forme levogyre D (—)-β-hydroxybutyrate (*l*-BoH) est intéressante à un triple point de vue : elle fait partie des corps cétoniques de l'organisme dont le métabolisme est mal connu. Elle est considérée avec l'α-céto-glutarate et le succinate comme un des métabolites qui initie les phénomènes d'oxydation phosphorylante ([5]). Enfin, sous forme polymérisée, elle



entre dans la composition du lipide β-hydroxybutyrique découvert par Lemoigne ([6]) et synthétisé par divers microorganismes ([7]), ([8]), ([9]). La déshydrogénase qui agit sur cette dernière forme, la D (—)-β-hydroxy-butyrate déshydrogénase a été découverte par Dakin ([10]). Bien que l'existence de cette enzyme ait été signalée de nombreuses fois jusqu'à ce

jour [11], [12], deux études ont été faites et seulement avec des particules de cœur ou des mitochondries de foie de rat par Green [13] en 1937 et par Lehninger [14] en 1960.

Dans la présente Note, nous décrivons les propriétés d'une β-hydroxybutyrate déshydrogénase soluble, partiellement purifiée à partir d'un extrait de *Bacillus Megatherium*.

La préparation de l'extrait bactérien et la définition de l'unité d'activité enzymatique sont identiques à ce qui a été décrit dans une précédente Note [13]. Les conditions opératoires sont les suivantes : tampon tri-(hydroxyméthyl) aminométhane (tris), pH 8,5, 200 μM; DPN (diphosphopyridine nucléotide), 1 μM; Mg^{++}, 3 μM; Mn^{++}, 3μM; *dl*-BoH, 30 μM; vol. 3 ml. Les méthodes et techniques utilisées ainsi qu'une littérature plus complète seront décrite dans un Mémoire ultérieur.

1° L'extrait brut renferme une DPNH oxydase qu'on élimine par chauffage et précipitation acide. Le tableau I indique les étapes de purification.

TABLEAU 1.

		Protéines (en mg)		Activité	
	Volume (ml).	par millilitre.	total.	U/ml.	U/mg.
a. Extrait brut précipité au Am_2SO_4...	91	25	2 250	–	–
b. Après chauffage 55°...............	105	10	1 050	2 280	288
c. Première précipitation acide........	100	8,9	890	5 120	575
d. Chauffage à 60°....................	114	4,4	500	3 640	827
e. Deuxième précipitation acide........	110	3,8	420	4 160	1088

La très grande sensibilité de l'enzyme ne nous a pas jusqu'à ce jour permis d'obtenir des activités supérieures à 2 000 U/mg; dans ce qui suit, nous utilisons une protéine de 1800 U/mg.

2° L'enzyme agit selon l'équation

$$l\ \beta\text{-hydroxybutyrate} + \text{DPN} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftarrows}} \text{acétoacétate} + \text{DPNH} + H^+.$$

La réaction est une réaction d'équilibre (courbe 1). La courbe 1 montre la réaction inverse pour deux concentrations d'acétoacétate.

Courbe 1 : La cuve du spectrophotomètre renferme : tampon tris pH 8,5, 200 μM; Mn^{++}, 3 μM; Mg^{++}, 3 μM; DPNH, 0,25 μM; acéto acétate, 5 μM et 50 μM; protéines, 145 μg.

3° La réduction du DPN est proportionnelle à la quantité de protéines pour les faibles concentrations de cette dernière. La courbe 2 montre cette proportionnalité.

Courbe 2 : Tampon tris, 200 μM; Mn^{++}, 3 μM; Mg^{++}, 3 μM; DPN, 1 μM; *dl*-BoH, 30 μM; vol. 3 ml; lecture à 340 mμ; protéines en microgrammes.

4° Le pH optimal d'activité est de 9,2 dans le tampon tris.

5° L'enzyme est spécifique du diphosphopyridine nucléotide (DPN). Le triphosphopyridine nucléotide (TPN) est sans action.

6° Elle est activée par le magnésium et surtout par le manganèse.

7° La déshydrogénase est spécifique de la forme *l* de l'acide β-hydroxybutyrique, la forme *d* est inactive.

8° Les constantes de dissociation du complexe enzyme substrat ont été calculées par la méthode de Lineweaver et Burk. Elles sont de $4,5.10^{-5}$ M pour le DPN; de $3,4.10^{-5}$ M pour le DPNH; de $5,4.10^{-4}$ M pour le *l* β-hydroxybutyrate; de $1,6.10^{-4}$ M pour l'acétoacétate; et enfin de $0,38.10^{-5}$ M pour le manganèse.

L'enzyme est stable à 4° pendant plusieurs semaines. Elle ne supporte pas toutefois la dialyse même en présence de réducteurs.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) F. Lynen et S. Ochoa, *Bioch. Bioph. Acta*, 12, 1953, *p.* 299.
(2) D. E. Green et coll., *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 4111.
(3) F. Lynen, L. Wesseley, O. Wieland et L. Rueff, *Angew. Chem.*, 64, 1952, p. 687.
(4) J. R. Stern, *Bioch. Bioph. Acta*, 26, 1957, p. 448.
(5) A. L. Lehninger, C. L. Wadkins, C. Cooper, T. M. Devlin et J. L. Gamble Jr., *Sciences*, 128, 1958, p. 451.
(6) M. Lemoigne, *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 1761; *Ann. Inst. Pasteur*, 39, 1925, p. 144 et 148; *Helv. Chem. Acta*, 29, 1946, p. 1303.
(7) R. M. Macrae et J. F. Wilkinson, *J. Gen. Microbiol.*, 19, 1958, p. 199 et 210.
(8) W. G. Forsyth, *Nature*, 182, 1958, p. 800.
(9) H. B. Levene et H. Wolochow, *J. Bact.*, 79, 1960, p. 305.
(10) A. J. Wakeman et H. D. Dakin, *J. Biol. Chem.*, 6, 1909, p. 373.
(11) B. Nisman, G. N. Cohen, S. W. Wiesendanger et J. Szulmajster, *Comptes rendus*, 237, 1953, p. 1801.
(12) M. Lemoigne, C. Peaud Lenoel et M. Croson, *Ann. Inst. Pasteur*, 77, 1949, p. 211.
(13) D. E. Green, J. G. Dewan et L. F. Leloir, *Bioch. J.*, 31, 1937, p. 934,
(14) A. L. Lehninger, H. C. Sudduth et J. B. Wise, *J. Biol. Chem.*, 235, 1960. p. 2450.
(15) R. Gavard, C. Combre, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2243.

(*Service des Fermentations, Institut Pasteur.*)

PHARMACODYNAMIE. — *Les échanges calciques entre plasma sanguin et divers organes, étudiés chez le Rat mâle et femelle à l'aide de* ^{45}Ca ([1]). Note (*) de M. **Jean-Claude Stoclet**, présentée par M. René Fabre.

Les échanges calciques entre plasma sanguin et cœur, utérus, muscle strié sont étudiés à l'aide de ^{45}Ca. Les courbes d'activité spécifique en fonction du temps, de la première minute à la 48e heure, sont établies. Les équations de ces courbes, différentes suivant le sexe, marquent la diversité des modalités des échanges avec chaque organe.

L'influence qu'exerce le taux de calcium présent dans les milieux biologiques sur les effets de divers agents pharmacodynamiques ([2]) nous a conduits à analyser les échanges de ce métal entre le plasma sanguin et divers organes tels que le cœur, l'utérus, le muscle strié et l'intestin grêle. Ces échanges s'effectuent avec des caractéristiques propres à l'organe considéré ([3]) et ne sont pas circonscrits aux espaces extracellulaires de celui-ci ([4]).

Dans la présente Communication nous rapportons les résultats de recherches dont le but a été de préciser les modalités des échanges calciques pour chacun des organes suivants : cœur, utérus, muscle strié (gastrocnémien et vaste latéral), chez le Rat.

Suivant la méthode exposée dans la première Note ([3]), nous avons déterminé la radioactivité spécifique du calcium du plasma et des organes après administration par voie intraveineuse de 15 μC de $^{45}CaCl_2$ (0,02 mg de calcium) dans 0,25 ml de soluté de ClNa à 9 °/₀₀ (veine du penis du Rat mâle ou veine jugulaire du Rat femelle en diœstrus). Les animaux ont été sacrifiés 1, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 60 et 120 mn après l'injection. D'autre part des déterminations aux temps 7, 24 et 48 h complètent les expériences précédentes ([3]).

Ces nouveaux résultats confirment ceux qui ont été rapportés antérieurement ([3]), ([4]). Leur ensemble portant sur 115 rats mâles et 50 femelles, nous permet de construire les courbes de la radioactivité spécifique du calcium du plasma et des organes en fonction du temps, de la première minute à la 48e heure après introduction du traceur (*fig.* 1 et 2).

L'étude graphique de ces courbes permet de calculer dans chaque cas leur équation. La radioactivité spécifique (R. S.) du calcium étant exprimée en pour-cent de la radioactivité injectée, par milligramme de calcium, et le temps en heures, ces équations s'écrivent :

1° pour le plasma des rats mâles :

$$\text{R. S.}_1 = 50\, e^{-49,6t} + 13\, e^{-1,00t} + 1,3\, e^{-0,184t} + 0.4\, e^{-0,025t}; \quad (1)$$

2° pour le cœur des rats mâles :

$$\text{R. S.}_2 = 50\, e^{-49,6t} + 13\, e^{-1,00t} + 1,3\, e^{-0,184t} + 0,4\, e^{-0,025t}; \quad (2)$$

3° pour le muscle strié des rats mâles :

(3) $$\mathrm{R.\,S.}_3 = -3{,}63\, e^{-0{,}43t} + 4{,}50\, e^{-0{,}64t} + 3{,}10\, e^{-0{,}21t} + 0{,}53\, e^{-0{,}028t} ;$$

4° pour le plasma des rats femelles :

(4) $$\mathrm{R.\,S.}_4 = 45\, e^{-58t} + 12\, e^{-0{,}90t} + 4{,}3\, e^{-0{,}20t} + 1{,}50\, e^{-0{,}025t} ;$$

5° pour l'utérus des rats femelles :

(5) $$\mathrm{R.\,S.}_5 = -18{,}8\, e^{-25t} + 13{,}0\, e^{-0{,}94t} + 4{,}3\, e^{-0{,}20t} + 1{,}5\, e^{-0{,}025t}.$$

Dans chaque équation on distingue quatre termes exponentiels dont nous avons donné la signification physiologique dans la Note précédente ([5]).

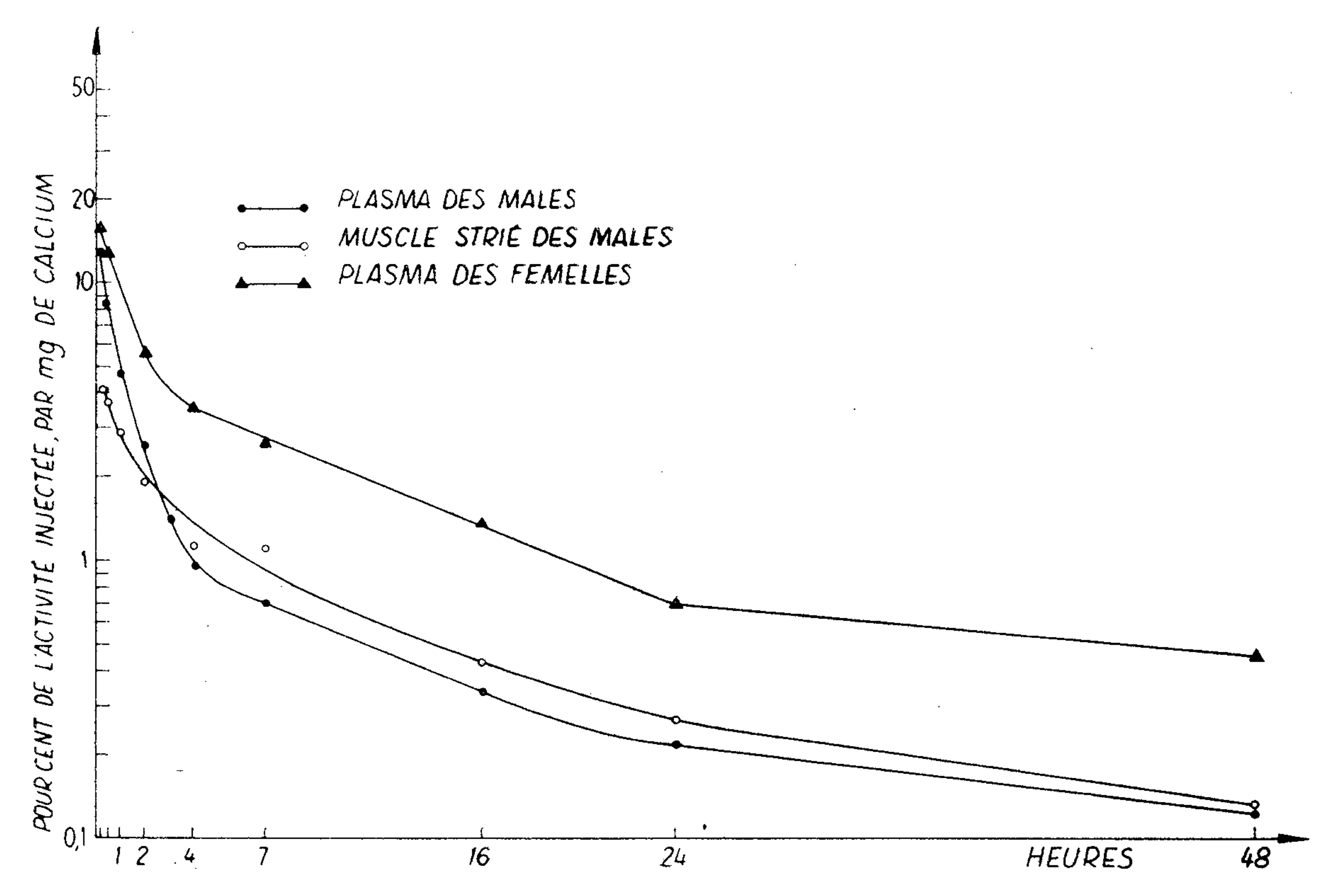


Fig. 1. — Variation de l'activité spécifique du calcium du plasma sanguin et du muscle strié chez le Rat mâle de 200 g et du plasma sanguin chez le Rat femelle de 200 g, de 10 mn à 48 h après l'injection de ^{45}Ca.

La comparaison des équations du plasma des animaux mâles et femelles montre une concordance dans la vitesse des échanges, mais une différence significative dans les quantités de calcium échangées pour les deux termes les plus lents.

Remarquons que pour un même poids (200 $\pm$ 5 g) les rats mâles et femelles ne sont pas à un même stade de croissance : les mâles sont âgés de deux mois, les femelles de quatre mois environ.

Pour les rats mâles, l'équation concernant le cœur est identique à l'équation concernant le plasma, ce qui tend à prouver que l'échange calcique entre ces derniers est immédiat et total.

Pour les rats femelles, l'équation concernant l'utérus est différente pour le premier terme de celle qui concerne le plasma, ce qui implique que les

échanges entre l'utérus et le plasma adoptent un rythme moins rapide que dans le cas du cœur.

L'équation du muscle strié, établie chez le mâle, se distingue de celle du plasma par la présence d'un terme exponentiel croissant dû à des échanges plus lents entre le plasma et cet organe. D'autre part, comme le calcium des muscles striés correspond à une fraction importante de celui

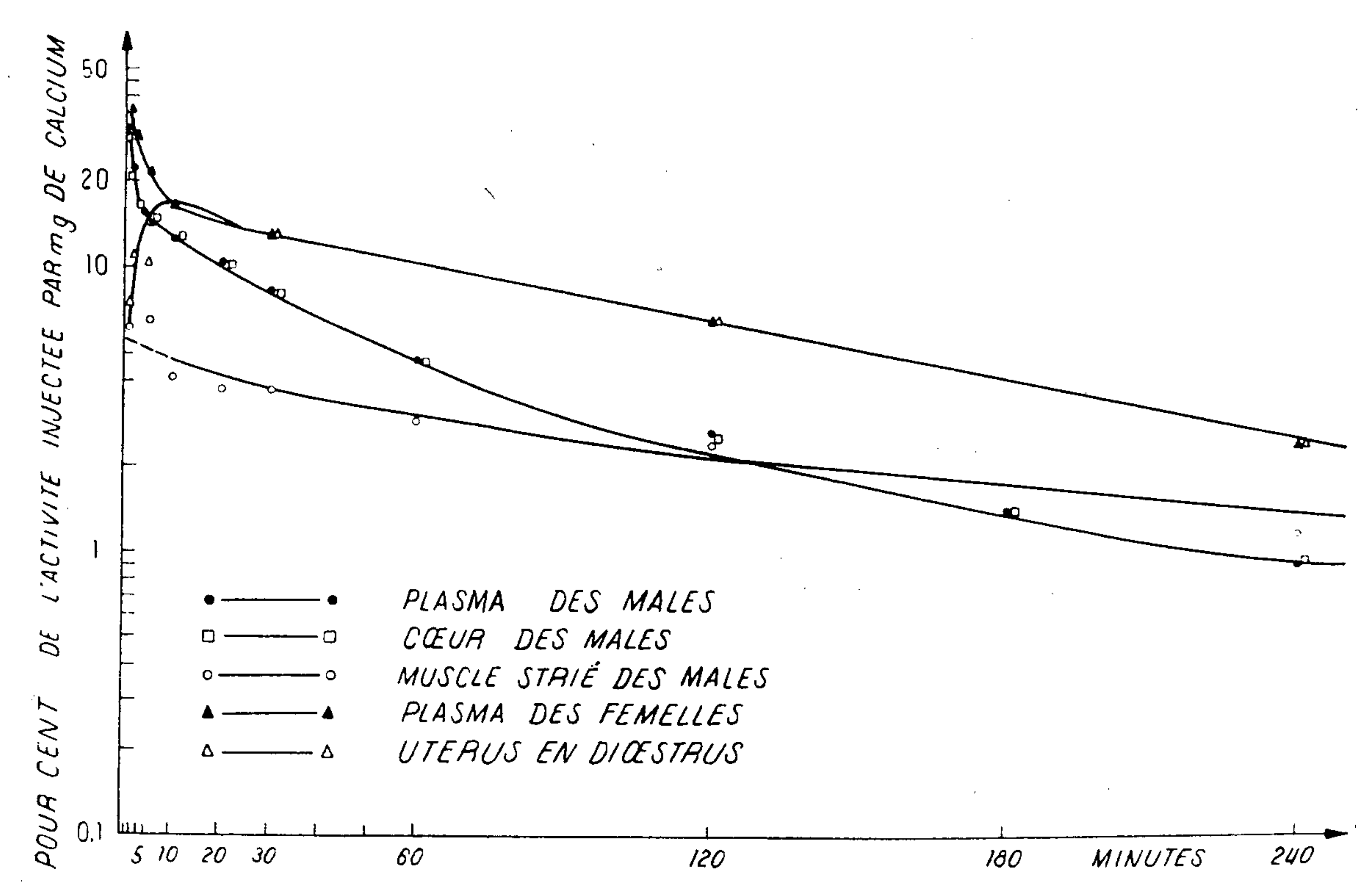


Fig. 2. — Variation de l'activité spécifique du calcium du plasma sanguin, du cœur et du muscle strié chez le Rat mâle de 200 g et du plasma sanguin et de l'utérus chez le Rat femelle de 200 g en diœstrus, de 1 mn à 4 h après injection intraveineuse de ^{45}Ca.

des tissus mous, ses échanges influent notablement sur le second terme de l'équation plasmatique attribué par certains auteurs [6] aux échanges entre plasma et tissus mous. Nos résultats ne nous permettent donc pas d'assimiler les échanges entre plasma et muscles aux échanges entre plasma et tissus mous dans leur ensemble.

Conclusion. — Les échanges calciques entre le plasma sanguin et le cœur, l'utérus et le muscle strié, montrent des modalités différentes; les échanges sont plus rapides pour le cœur que pour l'utérus. Ils sont relativement lents pour le muscle strié. Ces résultats mettent en évidence la diversité de ces échanges dans un ensemble qu'on a tendance à considérer comme uniforme.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) Ce travail a été effectué au cours d'un stage au Centre d'Études nucléaires de Saclay.

(2) G. Valette, Y. Cohen et H. Huidobro, *J. Physiol.*, Paris, 50, 1958, p. 549.
(3) J. C. Stoclet, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 974.
(4) J. C. Stoclet, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3229.
(5) J. C. Stoclet, *Comptes rendus*, 249, 1960, p. 1834.
(6) J. P. Aubert et G. Milhaud, *Biochim. Biophys. Acta*, 39, 1960, p. 122.

(*Laboratoires de Pharmacodynamie, Faculté de Pharmacie, Paris.*)

TOXICOLOGIE. — *Action caryoclasique du N-méthylacétamide à doses élevées chez le Rat.* Note (*) de MM. **Paul Lechat**, **Jacques Browaeys** et **Denis Wallon**, présentée par M. René Fabre.

Le N-méthylacétamide, à des doses de 800 à 8 000 mg/kg par voie sous-cutanée, détermine chez le Rat des lésions caryoclasiques portant surtout sur la moelle osseuse et le testicule. Si l'on compare son activité médullaire à celle d'agents caryoclasiques connus, au voisinage de leur DL_{50}, le N-méthylacétamide apparaît comme l'un des plus puissants, mais il s'en distingue par le fait qu'il ne provoque pas de leucopénie.

Le N-méthylacétamide est un corps peu toxique aux doses habituelles, employé comme solvant de différents médicaments. C'est précisément comme solvant que nous avons été amenés à l'injecter à des doses considérables, et à découvrir son action caryoclasique. Le N-méthylacétamide, additionné de 10 % d'eau, a été injecté par voie sous-cutanée à des rats blancs de 100 à 200 g.

Première série d'expériences. — Le produit a été injecté en une dose unique, respectivement de 800, 1800, 3 600, 5 200, 6 000 et 8 000 mg/kg, ceci pour établir à partir de quelle dose apparaissait l'effet caryoclasique. Les animaux ont été sacrifiés entre la 12e et la 24e heure.

— *Sur la moelle osseuse*, les altérations du noyau (pycnoses, caryorhexis) s'observent chez les myélocytes éosinophiles et neutrophiles, plus rarement chez les érythroblastes; le total des noyaux altérés pour 1000 éléments de chaque lignée est le suivant :

Dose (mg/kg).	Heure.	Cellules à noyau altéré pour 1 000 éléments.		
		Éosinophiles.	Neutrophiles.	Érythroblastes.
800	24^e^	0	0	0
1 800	24^e^	5	0	0
3 600	12^e^	95	14	14
5 200	12^e^	400	23	15
6 000	12^e^	460	146	110
8 000	16^e^	650	380	190

— *Sur le testicule*, on observe dès la dose de 800 mg/kg des pycnoses des spermatogonies, dont le noyau est réduit à un disque noir sans structure. A doses plus fortes, les pycnoses s'étendent aux spermatocytes de premier ordre.

— *Sur l'iléon :* nombreuses pycnoses du chorion avec phénomène d'« excrétion sphérulaire » de Dustin, nombreuses pycnoses et caryorhesis sur les glandes de Lieberkühn.

— *Sur le foie*, la proportion de cellules atteintes est beaucoup moins grande, mais cependant caryorhexis et images de caryolyse s'observent à partir de 1800 mg/kg.

— *Sur la rate*, pycnoses et caryorhexis nombreuses, surtout au centre des corpuscules de Malpighi.

Dans une deuxième série d'expériences, un lot de cinq rats a reçu pendant 20 jours une dose quotidienne de 300 mg/kg, ceci afin d'étudier à la fois l'effet sanguin du produit, et son action toxique éventuelle sur le foie, le rein et la surrénale. Dans ces conditions il ne se produit dans le sang périphérique ni anémie, ni neutropénie, ni même d'éosinopénie significative. Les organes examinés après les 20 injections sont peu altérés : le foie ne présente pas d'altérations nucléaires ni de signes d'hépatite toxique; l'aspect du rein est variable, alors que le testicule reste l'organe le plus touché.

Dans une troisième série d'expériences, trois lots de six rats ont reçu respectivement 3 600, 5 400 et 7 000 mg/kg en une dose unique pour l'établissement de la DL_{50} précoce (24e heure) et tardive (7e jour). Les survivants ont été sacrifiés au 15e jour pour étudier le degré de réversibilité des lésions.

Ces essais nous ont permis de fixer la DL_{50} autour de : 5 400 mg/kg à la 24e heure et 3 600 mg/kg au 7e jour.

Il n'y a pas eu de mortalité ultérieure. L'histologie des animaux sacrifiés au 15e jour a révélé les aspects suivants :

— *Sur le testicule*, régénération certaine, nombreuses spermatogonies normales. Certains tubes sont même remplis par plusieurs assises de spermatocytes et de spermatides. Mais on n'observe pas encore les stades ultérieurs de maturation et il persiste dans certains tubes des monstruosités (cellules géantes à 2, 5 et 7 noyaux).

— *Le foie* est le siège d'une prolifération conjonctive périvasculaire et péricanaliculaire.

— *L'intestin grêle* montre une prolifération intense des glandes de Lieberkühn.

Ayant ainsi établi que le pourcentage de caryoclasies médullaires était considérable autour de la DL_{50}/24e heure, nous avons voulu comparer cette action à celle de quelques agents caryoclasiques connus autour de leur DL_{50}. Voici les résultats comparés :

Produit.	Dose (mg/kg).	Heure.	Cellules à noyau altéré pour 1 000 éléments.		
			Éosinophiles.	Neutrophiles.	Érythroblastes.
N-méthylacétamide......	5 200	12^e^	400	23	15
	6 000	12^e^	460	146	110
Uréthanne.............	2 500	12^e^	125	25	30
	1 800	12^e^	12	0	0
Méthyl-bis-β-chloréthylamine.......	2	12^e^	310	6	14
Rayons X.............	2 400 r	12^e^	375	15	10

Le N-méthylacétamide apparaît ainsi comme l'un des agents les plus actifs sur la moelle osseuse. Comme son action s'étend par ailleurs à des cellules aussi différentes que les cellules hépatiques et les spermatogonies, il semble qu'on puisse faire entrer cet amide substitué parmi les substances caryoclasiques.

Des expériences en cours montrent que cette propriété se retrouve également chez le diméthylacétamide et le diéthylacétamide.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(Centre de Recherches de l'Association Claude-Bernard, 47, quai de la Tournelle, Paris, 5e et Laboratoire de biologie du Centre hospitalier de Versailles.)

PARASITOLOGIE. — *Sur les formes amiboïdes de l'*Ichthyophonus (Ichthyosporidium) hoferi *Plehn et Mulsow*. Note (*) de MM. **Auguste Dorier** et **Charles Degrange**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Les kystes de l'*I. hoferi*, parasite de divers Salmonidés, donnent dans l'intestin d'un sujet infecté expérimentalement des « amiboblastes » puis des formes amiboïdes uni ou binucléées qui sont libérées et se déplacent dans le contenu intestinal.

Malgré les nombreux travaux qui ont été consacrés à ce parasite des Poissons, notamment ceux de Plehn et Mulsow (1911), Pettit (1913), Neresheimer et Clodi (1914), Daniel (1933), etc., son cycle évolutif présente encore des obscurités. Celles-ci sont dues en partie à ce que tous les travaux antérieurs à la découverte faite par L. Leger et E. Hesse [1] en 1923 de l'*I.* (*Basidiobolus*) *intestinalis* — espèce non pathogène, commensale du tractus digestif de la Truite et d'autres Salmonidés — peuvent être entachés d'erreur. En effet plusieurs auteurs, notamment Pettit, Neresheimer et Clodi, ont manifestement pris *I. intestinalis* pour un stade d'évolution d'*I. hoferi*.

Au cours de nos recherches sur ce parasite, agent d'une redoutable maladie des Salmonidés d'élevage (Truite arc-en-ciel, Saumon de fontaine), nous avons constaté, en conformité avec ce qui était connu jusqu'ici, que les kystes d'*I. hoferi* subissent après la mort de leur hôte un commencement d'évolution. Celle-ci se manifeste soit par la libération du contenu du kyste sous forme d'un plasmode plurinucléé qui peut se fragmenter ensuite, soit par découpage de la masse interne du kyste en deux ou plusieurs éléments, soit enfin, et c'est le cas le plus fréquent, par germination et production d'un bouquet de filaments ramifiés dont le contenu se condense pour donner, à leur extrémité, des renflements en général arrondis, parfois allongés ou même spiralés, qui finissent par s'en détacher. Mais quel que soit le processus suivi, on aboutit au même résultat : la fragmentation du contenu du kyste en un certain nombre de masses cytoplasmiques plurinucléées atteignant 120 μ de diamètre. Ce stade n'est dépassé ni dans le cadavre abandonné à lui-même ni dans les cultures sur des milieux variés qui ont été tentées par divers auteurs et par nous-mêmes.

Par contre, lors de l'infestation de sujets sains par ingestion de kystes contenus dans la chair ou les viscères de poissons contaminés, ces masses plurinucléées se transforment, par clivage de leur cytoplasme autour des noyaux, en « amiboblastes » contenant des sphérules de 8 à 12 μ. Celles-ci donnent directement des formes amiboïdes qui sont libérées par rupture de la paroi de l'amiboblaste.

Entre la 30e et la 48e heure qui suivent le repas infectieux, nous avons pu observer, *in vivo*, dans le contenu intestinal, ces formes amiboïdes

d'une taille de 3 à 8 × 12 à 16 μ qui s'y rencontrent en nombre considérable. Leur cytoplasme hyalin renferme un ou deux noyaux de 2 à 2,5 μ de diamètre avec caryosome central et un amas d'inclusions sphériques, de nature lipidique, qui roulent les unes sur les autres lors des déformations du corps qui accompagnent le déplacement.

Beaucoup de ces formes amiboïdes ne parviennent pas à franchir la paroi intestinale et sont évacuées avec les excréments. Souvent, après une période active, elles s'immobilisent et prennent une forme sphérique. Elles sont néanmoins reconnaissables grâce à leurs inclusions lipidiques caractéristiques.

Neresheimer et Clodi [2] ont vu des corps amiboïdes en migration dans la paroi de l'estomac de Truites infectées expérimentalement. Ces corps, d'environ 40 μ, colorables par le Giemsa, proviendraient de « sphérules » ayant pénétré dans la muqueuse. Nous estimons qu'il s'agit là de petits plasmodes issus de kystes logés dans la paroi de l'estomac. Par leur taille, leur position, leur colorabilité ces éléments ne peuvent en aucune façon être assimilés aux formes amiboïdes que nous avons découvertes dans le contenu intestinal de sujets infectés expérimentalement et dont nous avons montré l'origine. En outre, les « sphérules » de Neresheimer et Clodi nous paraissent appartenir à des *I. intestinalis* et sont, de ce fait, étrangères au cycle évolutif de l'*I. hoferi*.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 420.
(2) *Arch. Protistenk. Jena*, 34, 1914, p. 234.

(*Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences, rue Hébert, Grenoble.*)

BACTÉRIOLOGIE. — *Comparaison de l'activité bactéricide des histones avec leur pouvoir de floculer certaines protéines.* Note (*) de MM. **Jean Guillaume**, **Jean-Claude Derieux** et **Roger Osteux**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Le pouvoir bactéricide de la fraction riche en arginine des histones est parallèle à leur aptitude à précipiter certaines protéines.

Biserte et coll. [1] ont comparé récemment le pouvoir antibactérien de diverses fractions d'histones. Il nous a semblé intéressant d'étudier les modalités d'action des fractions les plus bactéricides : agissent-elles au niveau des acides nucléiques [2], [3] ou par blocage de certaines chaînes du métabolisme [4] ?

Nos premiers travaux nous ont amenés à comparer le pouvoir bactéricide des histones avec leur propriété de floculer les protéines.

Mode opératoire. — La fraction d'histone riche en arginine utilisée a été préparée à partir de thymus de veau, selon la technique de Daly et Mirsky [5], en suivant le protocole expérimental de Sautière [6]; nous la désignons par le symbole HA. Dans les expériences décrites, nous avons employé la souche d'*Escherichia coli* 36 *Burnet*. Pour l'évaluation du pouvoir bactéricide des HA, une quantité de germes de l'ordre de 10^4 est mise en suspension dans 1 ml de solution d'histone, à pH 6,7, durant 1 h à 37° C; on prélève alors 0,05 ml qu'on ensemence par étalement sur une gélose coulée en boîte de Pétri; les colonies sont dénombrées après 18 h à 37° C. Notre échantillon de HA présente vis-à-vis de la souche 36 *Burnet* un pouvoir bactéricide de 50 % à la concentration de 2,5 μg/ml et de 100 % à la concentration de 5 à 7,5 μg/ml.

Les HA ajoutées en doses croissantes à une solution de fraction V des protéines sériques ou de fraction adialysable de peptone trypsique donnent une combinaison insoluble; les histones en excès dissolvent le précipité, comme l'indique la figure 1. L'addition de protéines à une solution d'histone détermine un phénomène semblable, mais la courbe est plus étalée. Après contact, durant 1 h, de protéines avec des doses croissantes de HA, l'activité bactéricide des surnageants a été essayée; les résultats schématisés sur la figure 1 montrent que les précipités HA-protéine entraînent le facteur bactéricide : pratiquement, dès qu'on atteint le sommet de la courbe de floculation, donc d'épuisement, le pouvoir bactéricide réapparaît dans toute son ampleur et il n'y a plus de germes vivants.

D'autre part, nous avons cherché s'il existait une relation quantitative entre histones et bactéries. Dans l'expérience dont les résultats sont donnés dans la figure 2, nous avons mis en présence d'histones durant 1 h des quantités importantes de bactéries, dont les survivantes ont été comptées après dilutions convenables. Si le nombre de bactéries par microgramme d'histones excède 1.10^6, le matériel actif est épuisé et une partie de la population bactérienne demeure intacte. Dans ce cas, l'addition ultérieure de protéines ne provoque aucune précipitation. Au contraire, si les protéines sont ajoutées à un mélange d'histones et de bactéries

préalablement réalisé en proportions telles que l'effet bactéricide soit total (surface située au-dessous de la ligne pointillée de la figure 2), on observe alors un précipité; cependant, sa densité optique est plus faible que celle prévue par le calcul. Cette constatation est en faveur d'une compétition

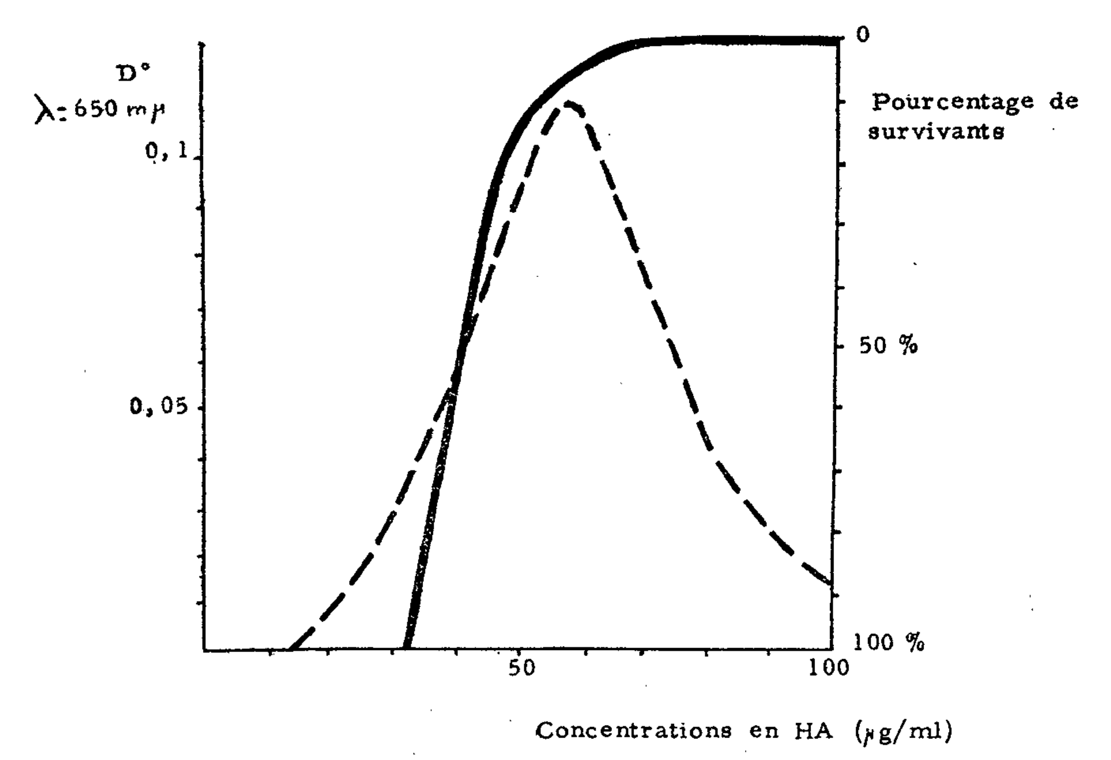


Fig. 1.

En pointillés : courbe de floculation exprimée en densités optiques : 100 μg de protéine par millilitre sont additionnés de concentrations croissantes d'HA. En trait plein : pourcentage de bactéries survivantes après contact avec les mélanges HA-protéine.

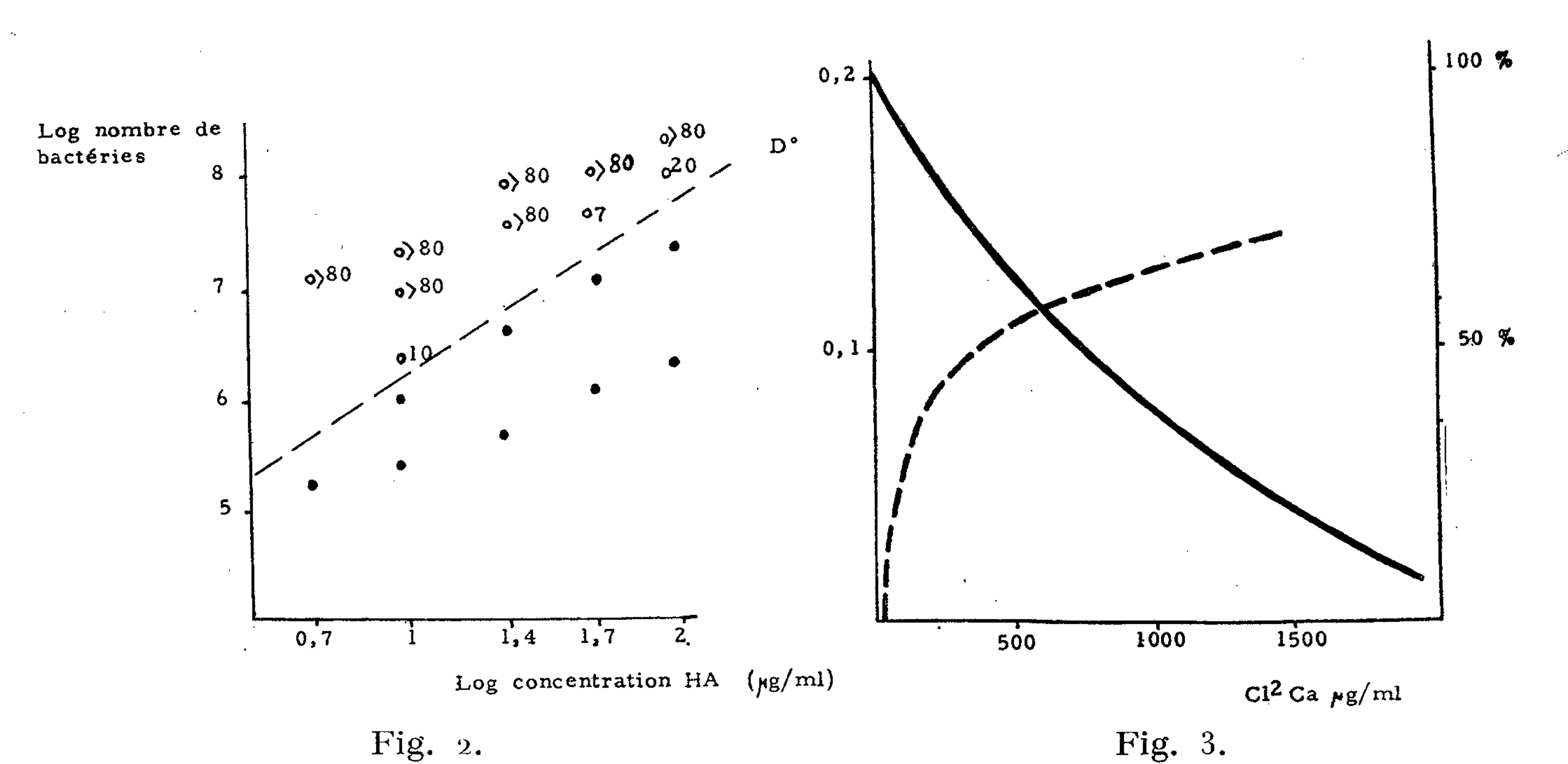


Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 2. — Quantités variables de bactéries mises en présence de diverses concentrations en HA.

● effet bactéricide total;

○ les nombres indiquent le pourcentage de survivants.

Fig. 3.

En trait plein : précipitation 100 μg/ml d'HA par 250 μg de protéines, en présence de calcium.

En pointillés : pourcentage de bactéries survivantes après contact avec 100 μg/ml d'histone, en présence de calcium.

dans l'affinité des histones, soit pour les bactéries, soit pour les protéines en solution. Afin de préciser cette hypothèse, nous avons étudié l'action de deux facteurs inhibiteurs de la floculation des protéines par les HA.

1° Au-dessous de pH 6,5, la précipitation des protéines par les HA est inhibée et l'on peut considérer que la densité optique du floculat est inversement proportionnelle au pH entre 4,5 et 6,5. De même, l'effet bactéricide des HA diminue avec le pH et il est totalement inhibé à pH 4.

2° Les ions calcium, comme l'a signalé Delaunay [4], lèvent l'inhibition de la respiration bactérienne par les histones : or, la figure 3 montre que le calcium empêche la précipitation des histones et supprime aussi leur activité bactéricide.

Conclusion. — Il existe un parallélisme frappant entre les propriétés bactéricides des HA et leur faculté de précipiter certaines protéines. Il est donc possible que l'action antibactérienne ne soit pas due à l'aptitude des histones à se fixer sur les acides nucléiques, mais plutôt à celle de réagir avec certaines protéines de la paroi : il s'ensuivrait un pouvoir floculant qui serait lui-même la cause directe de l'activité bactéricide et de l'abaissement de la respiration bactérienne.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) G. Biserte, A. Tacquet, H. Leclerc et P. Sautière, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 1790.

(2) M. Hénon, M. Pelletier et A. Delaunay, *Rev. Immunol. Thérap. Antimicrob.*, 23, 1959, p. 245.

(3) F. Bocker et H. Green, *Exptl. Cell Research*, 19, 1960, p. 361.

(4) A. Delaunay, M. Hénon et M. Pelletier, *Rev. Franç. Études Clin. et Biol.*, 5, 1960, p. 187 et *Path. Biol.*, 8, 1960, p. 715.

(5) M. Daly et A. Mirsky, *J. Gen. Physiol.*, 38, 1955, p. 405.

(6) P. Sautière, *Thèse Doctorat en Pharmacie*, Lille, 1959.

(Institut Pasteur de Lille et Service de Biochimie pharmaceutique de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lille.)

A 15 h 25 m l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 15 h 35 m.

R. C.